



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČLOVĚK JAKO FAKTOR KVALITY VZDUCHU

MAN AS A FACTOR OF AIR QUALITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Kops

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OLGA RUBINOVÁ, Ph.D.

BRNO 2018

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je zjistit pomocí měření produkci oxidu uhličitého, kterou člověk vyprodukuje při různých typech fyzické aktivity. S využitím daného modelu je cílem simulovat reálnou produkci oxidu uhličitého pro typový objekt a dále navrhnout způsob automatické regulace, přívodu a odvodu vzduchu pro získání kvalitnějších vlastností vnitřního prostředí (reprezentovanou koncentrací oxidu uhličitého).

PREFACE

The aim of the diploma thesis is to find out by measuring the production of carbon dioxide that man produces in various types of physical activity. Using the model, the goal is to simulate real carbon dioxide production for a type object and to design a way of automatic regulation, air supply and drainage to obtain better indoor environment (represented by carbon dioxide).

KLÍČOVÁ SLOVA

Oxid uhličitý, vlhkost, teplota, čidlo, model, větrání, tepelné ztráty, hluk, rekuperace, plíce, spirometr, koncentrace, regulace

KEY WORDS

Carbon dioxide, humidity, temperature, sensor, model, ventilation, heat loss, noise, recuperation, lungs, spirometer, concentration, regulation



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Tomáš Kops
Název	Člověk jako faktor kvality vzduchu
Vedoucí práce	Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

Řešení využívající výpočetní techniku a modelování

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení

Návrh technického řešení ve 2 variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů)

v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva

Ideové řešení navazujících profesí TZB (ZTI, UT, VZT) v zadané budově

Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.;

C. Experimentální řešení a zpracování výsledků

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Tomáš Kops. *Člověk jako faktor kvality vzduchu*, Brno, 2018. 67 s., přílohy 4 s.

Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Člověk jako faktor kvality vzduchu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Tomáš Kops
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Člověk jako faktor kvality vzduchu* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Tomáš Kops
autor práce

PODĚKOVÁNÍ:

Poděkování patří vedoucí mé diplomové práce Ing. Olze Rubinové, Ph.D. za pomoc, ochotu a cenné rady a připomínky, které mi poskytla při zpracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině, že mne podporovala a za její trpělivost během studia a nakonec všem kamarádům za pomoc při cestě sem.

OBSAH

ČÁST A – TEORETICKÁ ČÁST	1
1 ÚVOD DO TEORETICKÉ ČÁSTI	2
1.1 Větrání.....	2
1.2 Kvalita vnitřního vzduchu	2
2 Metody řešení	2
2.1 Plíce	2
2.2 Mechanika dýchání.....	3
2.3 Vyšetření plic	4
3 Spirometrie	4
3.1 Spirometr.....	4
3.1.1 Principy spirometrů	4
3.2 Měřené parametry	5
3.2.1 Křivka objem - čas.....	5
3.2.2 Křivka průtok – objem	6
4 Zdroje CO₂	6
4.1 Množství CO ₂	6
4.1.1 Vliv CO ₂ na lidi	6
5 Měření CO₂	7
5.1 CO ₂ čidla	7
5.1.1 Čidla NDIR.....	7
5.1.2 Elektrochemická čidla.....	7
5.1.3 Elektroakustická čidla	8
5.1.4 Výstupy čidel	8
5.2 Větrání.....	9
5.2.1 Povolení chodu	10
5.2.2 Frekvenční měnič.....	10
5.2.3 Řízené větrání s rekuperací	10
5.2.4 Automatické řízení výkonu ventilace pouze podle znečištění vzduchu a podle požadované teploty vzestupně	11
6 Modelování	11
6.1 Modely šíření CO ₂	11
6.1.1 CFD modely.....	11
6.1.2 Mono-zone modely	12
6.1.3 Multi-room modely	12
6.1.4 Zonal modely	12
ČÁST B – EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	13
1 Použité přístroje a programy	14
1.1 Logger Pro.....	14
1.1.1 Získávání dat	14
1.2 Spirometr SPR - BTA	15
1.3 Čidlo oxidu uhličitého.....	16
2 Praktické měření	17
2.1 Postup měření	17
2.2 Výstupy měření	18
2.2.1 OSOBA 1	19

2.2.2	OSOBA 2	20
2.2.3	OSOBA 3	21
2.2.4	OSOBA 4	22
2.2.5	OSOBA 5	23
2.2.6	OSOBA 6	24
2.2.7	OSOBA 7	25
2.3	Vyhodnocení měření	26
2.3.1	Graf závislosti tepu na produkci oxidu uhličitého	26
2.3.2	Graf závislosti průtoku vzduchu na tepu	27
2.3.3	Graf závislosti vydechaného CO ₂ na průtoku.....	27
2.3.4	Graf závislosti dechové frekvence na tepu.....	28
2.4	Aplikace výsledků	28
2.4.1	Dávka vzduchu pro klidový stav	28
2.4.2	Dávka vzduchu pro střední aktivitu	29
2.4.3	Dávka vzduchu pro vyšší aktivitu.....	29
3	Závěr	29
ČÁST C – PRAKTICKÁ ČÁST.....		30
1	SEZNÁMENÍ	31
1.1	Rozdělení objektu do funkčních celků.....	32
2	NÁVRH DISTRIBUČNÍCH PRVKŮ	32
2.1	Anemostat smay ns-9.....	33
2.1.1	Stanovení tlakové ztráta. akustického výkonu	33
2.2	Obdélníková vyústka – VKE, PBZI-H plenum box izol. s horizontálním připojením	34
2.2.1	Stanovení tlakové ztráta. akustického výkonu	34
2.3	Talířový ventil SMAY KE (odvodní).....	34
2.3.1	Stanovení tlakové ztráta. akustického výkonu	35
3	NÁVRH PROTIPOŽÁRNÍ KLAPKY.....	35
4	NÁVRH TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ Č. 1	36
4.1	SCHÉMA ROZVODU POTRUBÍ	36
4.2	Regulátor RPMC-K	37
4.3	Regulátor RPMC-V	37
4.4	Nástěnné regulátory pro systémy s proměnlivým průtokem vzduchu	38
5	NÁVRH TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ Č. 2	40
5.1	SCHÉMA ROZVODU POTRUBÍ	40
5.2	Zhodnocení navrhovaných řešení	40
6	VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY	41
6.1	Zařízení 1	42
6.1.1	Funkční schéma	45
6.1.2	Požadavky směrnice ErP na ventilátory	46
6.2	Zařízení 2	47
6.2.1	Funkční schéma	50
ČÁST D – TECHNICKÁ ČÁST		51
1	ÚVOD	52
2	ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ.....	52
3	POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ	52
3.1	Koncepce větracích a klimatizačních zařízení.....	52

4	MĚŘENÍ A REGULACE	53
5	NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE	53
5.1	Stavební úpravy:.....	53
5.2	Silnoproud:	53
5.3	Vytápění:	54
6	ZÁVĚR.....	54
	ZÁVĚR.....	55
	POUŽITÉ ZDROJE.....	55
	SEZNAM TABULEK.....	56
	SEZNAM GRAFŮ.....	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
	SEZNAM PŘÍLOH	57



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČÁST A – TEORETICKÁ ČÁST

PART A - THEORETICAL PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Kops

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OLGA RUBINOVÁ, Ph.D.

BRNO 2018

1 ÚVOD DO TEORETICKÉ ČÁSTI

1.1 Větrání

Dnešní trend snižování energetické náročnosti budovy vede k výběru takových materiálů, které omezují ztrátovou výměnou vzduchu, čímž se myslí výměna skrz vnější obálku budovy. U nízkoenergetických a pasivních domů je totiž pozornost věnována neprodyšnosti vnější obálky budovy a vhodně dimenzovanému ventilačnímu systému. Bez nuceného větrání by docházelo za těchto podmínek k nárůstu nežádoucích látek v budově.

1.2 Kvalita vnitřního vzduchu

Kvalita vzduchu zahrnuje neetermické kvality vzduchu, které mají vliv na zdraví a pohodlí člověka. Aby nedocházelo k nárůstu nežádoucích látek nad hygienické podmínky v daném prostoru, jsou prostory vybaveny větracími systémy. Nežádoucí látky mohou být různé povahy, složení látek závisí na způsobu využívání budovy.

Jedny z nejdůležitějších látek, které se mohou vyskytovat a ovlivňovat budovy, jsou oxid uhličitý, oxidy dusíku, oxid uhelnatý, prachové částice, radon a mikroby. Aby byla zjištěna kvalita vzduchu v budově, není nutno měřit koncentraci všech látek, zde budeme považovat za výchozí ukazatel množství oxidu uhličitého.

Pokud dojde k překročení maximální koncentrace oxidu uhličitého ve vnitřním prostoru dané budovy, dochází k negativnímu dopadu na obyvatele, zejména na jejich fyziologii. Projevuje se takzvaný Sick building syndrom (SBS), jenž spočívá ve zhoršení reakcí centrální nervové soustavy, soustředění a reakce.

2 Metody řešení

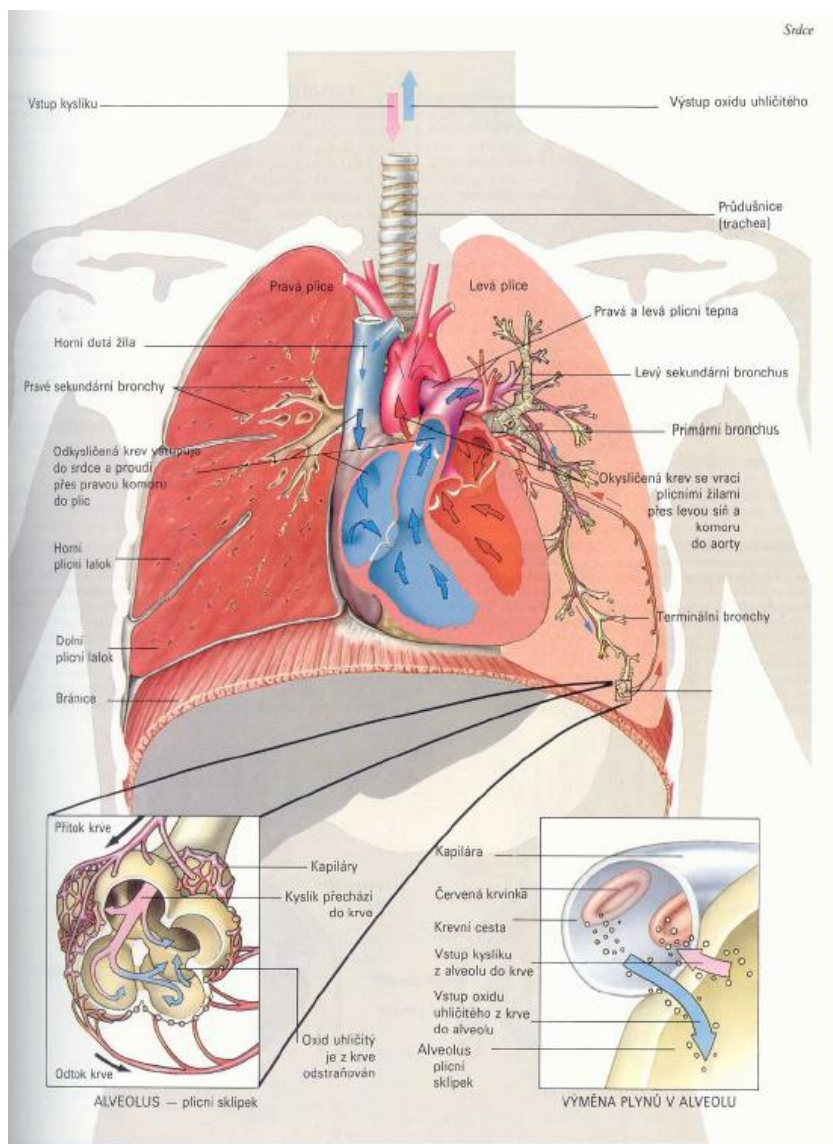
2.1 Plíce

Jednou z disciplín dnešní medicíny je diagnostika plic. Zabývá se jejich vyšetřením z několika hledisek. Zkoumá se objem plic a výměna plynu. Ty nám umožňují hodnotit mechaniku dýchání a stanovují plicní veličiny. Jako základní parametry určujeme objem plic a průtok.

Plíce umožňují pohyb vzduchu do těla a ven - ventilaci. Skládají se ze dvou částí, a to z pravé plíce, která má tři laloky a levé plíce, která má dva laloky. Tyto dvě části odděluje mezihrudí. Na jejich povrchu leží poplicnice, jemná blána srůstající s plicním vazivem. Na poplicnici leží další krycí blána - pohrudnice. Mezera mezi těmito dvěma blánami, tzv. pleurální dutina, je vyplněna malým množstvím tekutiny. Zde je negativní tlak (podtlak). Vlastním místem výměny plynů jsou plicní váčky, jejichž stěny jsou tvořeny plicními sklípky. Stěny alveolů jsou tvořeny respiračním epitelem, ke kterému přiléhají plicní kapiláry. Samotná výměna probíhá difuzí přes alveolo-kapilární stěnu o tloušťce asi 2 μm . [1] [2] [3]

2.2 Mechanika dýchání

Plicní ventilace je proces, při kterém je nasáván a vydechován vzduch do plic. Plíce fungují jako sací čerpadlo při změně tlaku v plicích. Zabezpečují výměnu plynů tzn., že vdechovaný vzduch jde přes dutinu nosní a dutinu ústní přes hrtan do průdušnice (trachea), průdušky (bronchy), průdušinek (bronchioly) až do plicních sklípků (alveol). Zde se kyslík z nadechnutého vzduchu navazuje na červené krevní barvivo (hemoglobin) a uvolněný oxid uhličitý jde výdechem dýchacími cestami ven do okolního ovzduší.



Obr. 1: Plíce [2]

Dýchání dělíme na vdech (inspirum) a výdech (expirum). Vdech je závislý na činnosti vdechových svalů – dochází při něm k nasátí vzduchu a zvětšení objemu hrudníku. Při výdechu žebra klesají a vytlačují vzduch z plic.

Je-li snížena pohyblivost žeberek nebo bránice po úraze nebo jsou-li vytvořeny nadměrné tukové polštáře v oblasti břicha, vzniká tzv. krátký dech.

2.3 Vyšetření plic

Pro získání parametrů jako je průtok a objem plic mají nezastupitelnou roli medicínské přístroje. Klade se důraz na přesnější a rychlejší vyhodnocení získaných hodnot. Jedním z používaných přístrojů v praxi je spirometr.

3 Spirometrie

Spirometrie je jedna z nejdůležitějších metod používaných k hodnocení plicní ventilace za účelem diagnostiky plicních chorob. Zjišťujeme změny objemu plic v čase. Vyšetřovaný buď vsedě nebo vestoje si vloží náústek spirometru mezi rty. Výsledek vyšetření je takový, že po sekvenci klidového dýchání, kde následuje maximální nádech a výdech, získáváme hodnoty dechového objemu plic, inspiračního rezervního obejmu a expiračního rezervního objemu. [4]

3.1 Spirometr

3.1.1 Principy spirometrů

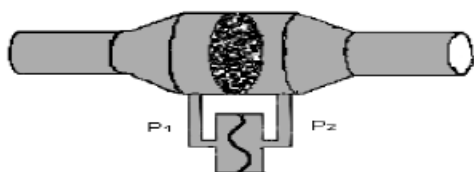
Spirometr s vodním uzávěrem – je složen ze dvou kruhových nádob mezi kterými je voda. Třetí nádoba je vložena dnem vzhůru do prostoru zaplněného vodou. Tato nádoba se pohybuje nahoru a dolů v závislosti na objemu dodaného vzduchu. [5] [6]

Spirometr s vodním uzávěrem a prodlouženou dobou měření – je na podobném principu jako s vodním uzávěrem. Zde však dochází ke kompenzaci zvyšování koncentrace CO_2 za pomoci absorbéru. Doba měření je prodloužena, jelikož je po intervalech přidáván kyslík. Spirometry využívající vodu nelze využít pro měření rychlých změn objemu. [6]

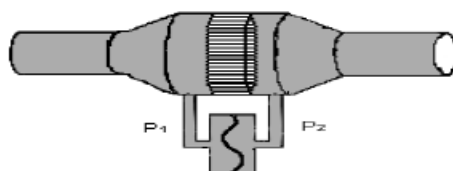
Spirometr se suchým uzávěrem – tento typ obsahuje suchý uzávěr a valivá ložiska. Hlavní část tvoří válec s pístem. Píst nemá styčnou plochu s válcem, což omezuje tření. Touto konstrukcí lze již dosáhnout měření rychlých změn objemu. [6]

Dnes jsou k přímému měření využívány přístroje s otevřeným okruhem, které využívají analyzátory rychlosti průtoku vzduchu a objem počítají integrací průtoku a času. Tyto přístroje se nazývají pneumotachometry a pracují na principu diferenciálního tlakoměru. Tlakový rozdíl před a za překážkou v pneumotachografické hlavici je přímo úměrný průtokové rychlosti vzduchu. Výstupní elektrický signál je následně digitálně zpracován a zobrazen ve speciálním PC programu. [7]

Typ s pneumatickým odporem – do hlavice je vložen odpor, který můžeme rozdělit do dvou typů. Silvermann – Lilly tento typ je opatřen několika metalickými sítěkami za sebou a typ odporu zajištěn soustavou tenkých kapilár.



Obr. 2: Pneumotachograf typu Lilly [8]



Obr. 3: Pneumotachograf typu Fleisch [8]

Typ s turbínkou – do tubusu s náustkem je vložena turbínka, s osou rotace stejnou jak osa snímače. Rychlost otáčení turbínky je souměrná s proudem vzduchu. Na základě počtu otáček lze stanovit průtok a objem ventilovaného vzduchu.

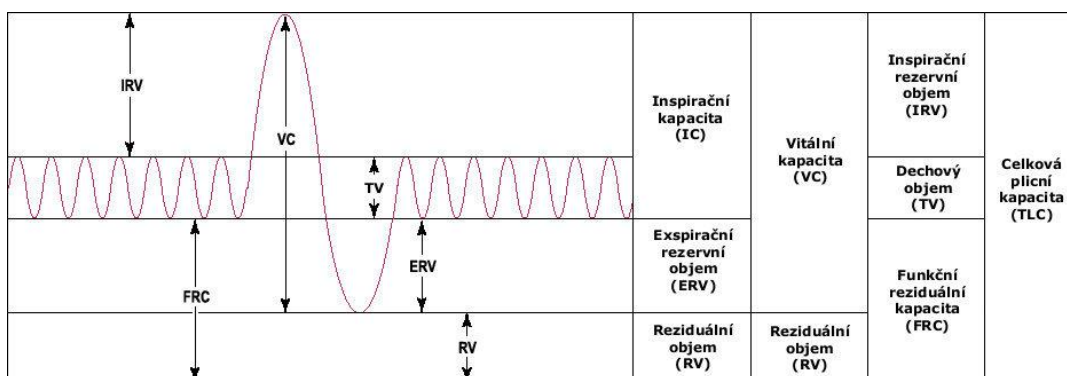
Typ snímače s vyhříváním anemometrem – v těchto snímačích je umístěn napříč tubusem tenký drátek s vyhříváním elektrickým proudem. Teplota v klidném stavu je rovna teplotě okolního prostředí, při dýchání dochází k ochlazování. Zvyšuje se vyhřívací proud, aby byla docílena původní teplota a díky vyhodnocené změně velikosti proudu získáváme informace o měřeném vzduchu.

3.2 Měřené parametry

VC – vitální kapacita (l): maximální objem vzduchu, který lze zjistit po maximálním nádechu a výdechu.

Df – klidova dechova frekvence: počet dechů za 1 minutu.

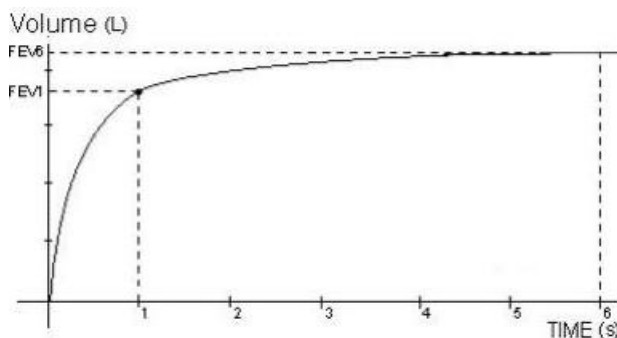
VT – dechový objem (l): objem vzduchu vdechnutý nebo vydechnutý jedním normálním vdechem nebo výdechem.



Obr. 4 – Dechový vzor s vyznačenými objemy a kapacitami [9]

3.2.1 Křivka objem - čas

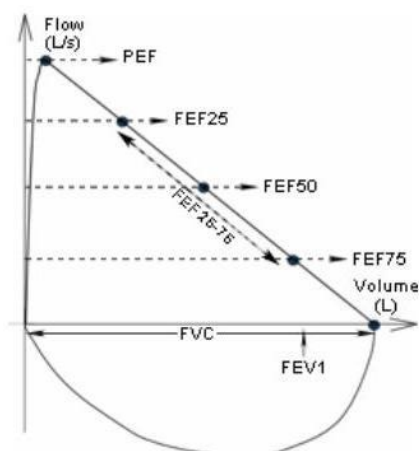
Naměřené hodnoty se zapisují do spirometrické křivky, kde jsou zaznamenány do souřadnicového systému hodnoty času (s) na osu x a na ose y hodnoty objemu (l) a zobrazují se změny objemu v čase.



Graf 1: Křivka objem – čas [8]

3.2.2 Křivka průtok – objem

V dnešní době jedna z nejpoužívanějších metod. Zpracovávají se hodnoty z nádechu i výdechu. Zaznamenávají se změny objemu a rychlosti průtoku vzduchu. Výsledkem měření je křivka, ze které lze odečíst hodnoty objemové i průtokové.



Graf 2: Křivka průtok – objem [8]

4 Zdroje CO₂

Oxid uhličitý patří mezi nejvýznamnější plyny na Zemi. V průmyslovém použití se může vyskytovat jako vstupní nebo odpadní produkt. Mezi přirozené zdroje oxidu uhličitého patří živé organismy. K jeho produkci dochází při dýchání. Je to vlastně chemický děj, při kterém se za přítomnosti kyslíku rozkládá glukóza a vzniká energie, voda a odpadní produkt oxid uhličitý.

4.1 Množství CO₂

Díky tomu že složky vzduchu nemají při daném tlaku a teplotě stejnou hustotu, rozlišujeme hmotnostní a objemovou koncentraci plyných složek. Jednou z nich je i oxid uhličitý. Přestože je těžší než objemová jednotka vzduchu při normálních teplotách, tlacích a koncentracích složek vzduchu, přibližně se jedná o homogenní směs.

Tab 1 - Složení vzduchu v blízkosti zemského povrchu

Plyn	Objemová koncentrace
Dusík	78,084 %
Kyslík	20,946 %
Argon	0,934 %
Oxid uhličitý	0,04 %
Ostatní složky	< 1 %

4.1.1 Vliv CO₂ na lidi

I přes to, že je oxid uhličitý bez zápachu a nelze ho spatřit, jeho zvýšená koncentrace je zřejmá. Při jeho vysoké úrovni dochází k únavě a poklesu koncentrace, a to především v prostorách se zvýšenou koncentrací lidí jako jsou školy, divadla a kina.

Pro lidské zdraví nepředstavuje vážné nebezpečí koncentrace CO₂ do 5000 ppm., ovšem dochází k únavě, ospalosti a k pocitu vydýchaného vzduchu. Doporučená koncentrace CO₂ ve vzduchu by měla být udržována na nebo spíše pod hodnotou 1000 ppm. [10]

Příklady koncentrace CO₂:

cca 350 ppm	úroveň venkovního prostředí
do 1000 ppm	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1200-1500 ppm	doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1000-2000 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
2000-5000 ppm	nastávají možné bolesti hlavy
5000 ppm	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
35 000-50 000 ppm	vydechaný vzduch dospělého člověka

5 Měření CO₂

5.1 CO₂ čidla

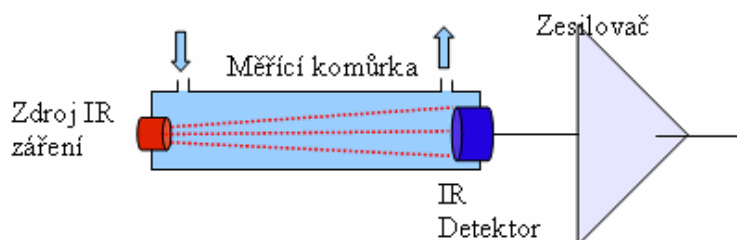
Ideální řešení jak správně větrat a kdy je to nejvhodnější lze najít pomocí CO₂ metru. Ten okamžitě prozradí, jaké je aktuální množství oxidu uhličitého v místnosti. Díky zabudovanému alarmu vždy upozorní na překročení nastavené hranice oxidu uhličitého.

Nejrozšířenější čidla pracují na základě infračervené absorpční metody (tzv. metoda NDIR). Dalšími jsou čidla pracující na elektroakustickém principu a na elektrochemickém principu. [10]

5.1.1 Čidla NDIR

Tato čidla pracují na principu měření poklesu infračerveného záření o specifické vlnové délce v ovzduší. Čidlo se skládá ze zdroje infračerveného záření, infračerveného detektoru s příslušným filtrem a světlovodné trubice. Signál z detektoru se dále zesiluje a pak se pomocí další elektroniky vyhodnocuje útlum záření a díky tomu se vypočítá aktuální koncentrace CO₂ ve vzduchu.

NDIR čidla jsou přesnější, stabilnější, měří koncentraci od nulové hodnoty a měří i vysoké koncentrace oxidu uhličitého. [10]

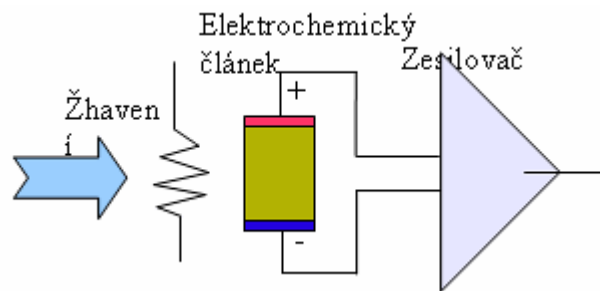


Obr. 5: Čidla NDIR [10]

5.1.2 Elektrochemická čidla

Tato čidla se skládají z elektrochemického článku s tuhým elektrolytem. Díky přídavnému žhavení je článek vyhříván na pracovní teplotu. Na článku dochází k chemické reakci, kdy se spotřebovává kyslík a na elektrodách článku vzniká elektromotorická síla. Díky měření této síly pomocí speciální elektroniky se pak zjišťuje koncentrace oxidu uhličitého.

Hlavní výhodou je vysoká citlivost a vynikající selektivita na oxid uhličitý. Oproti NDIR čidlům jsou lacinější, ovšem na úkor nižší životnosti a přesnosti. Jsou však dostatečná pro využití ve ventilační technice. Čidla pracují až od cca 400 ppm, což vůbec nevádí vzhledem ke koncentraci venkovního vzduchu, který se pohybuje kolem 350-400 ppm. Díky zabudované autokalibrační funkci, která zajišťuje automatickou periodickou recalibraci čidla na čerstvý vzduch se eliminuje stárnutí čidla a je tak zajištěna dlouhodobá stabilita parametrů. [10]

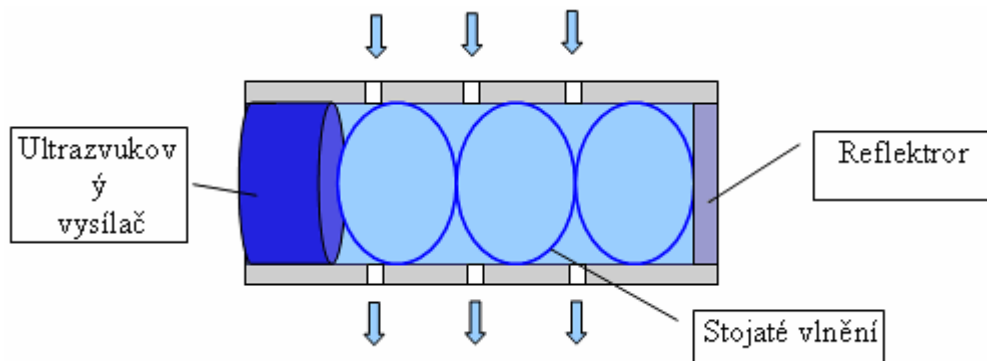


Obr. 6: Elektrochemická čidla [10]

5.1.3 Elektroakustická čidla

Tato čidla pracují na principu vyhodnocování změn kmitočtu ultrazvuku v mechanickém rezonátoru. Změna kmitočtu ultrazvukových vln se vyhodnocuje pomocí elektroniky a díky změně kmitočtu a koncentraci CO_2 ve vzduchu se určuje aktuální koncentrace CO_2 .

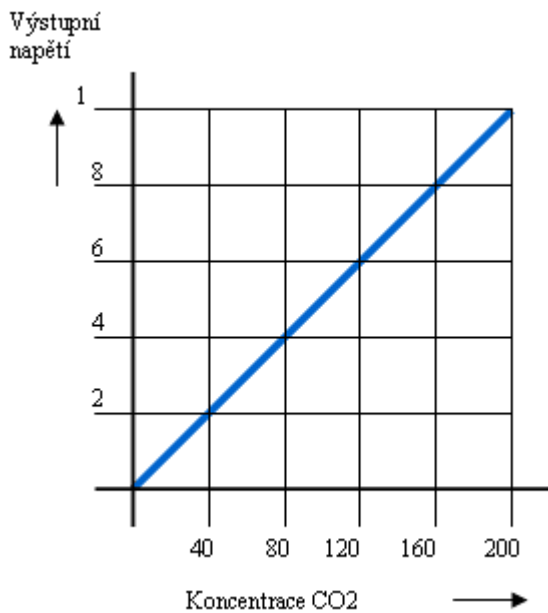
Hlavní předností těchto čidel je dlouhodobá stabilita bez nutnosti recalibrace. [10]



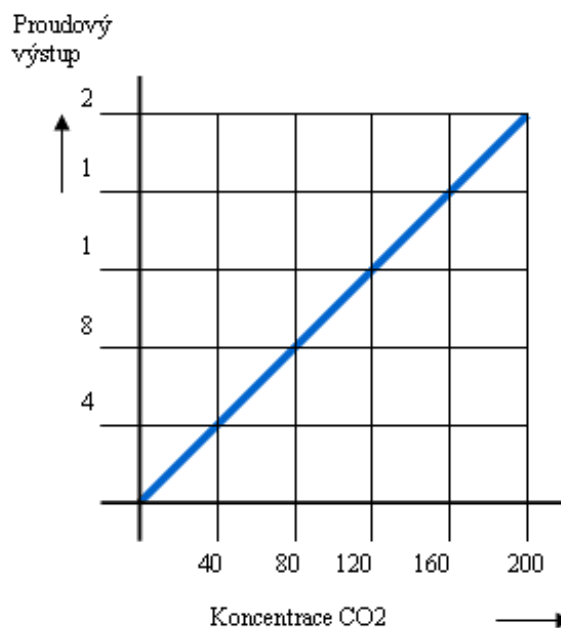
Obr. 7: Elektroakustická čidla [10]

5.1.4 Výstupy čidel

Všechna čidla mají spojitý napěťový výstup (0-10 V) nebo proudový výstup (0-20 mA), pomocí něhož předávají informaci o koncentraci CO_2 nadřazenému ventilačnímu systému. [10]



Graf 3: Napěťový výstup 0-10V



Graf 4: Proudový výstup 0-20mA

5.2 Větrání

Dnes žádané energetické úspory jsou v pořádku, i když mají za následek zhoršení kvality vnitřního ovzduší. Díky dřívějším netěsným oknům bylo zajištěno alespoň malé provětrání, ale nahrazením novými těsnými okny zmizela i tato malá výměna vzduchu. S ohledem na ekonomická opatření dochází i ke snižování nákladů, což má za důsledek, že se ve školách a jiných objektech zapomělo větrat. Dalšími možnými důvody, proč se nevětrá může být bezpečnost, prašnost okolního prostředí nebo hluk.

Aby byla budova funkční, musí být splněny nejen opatření týkající se tepelně technických vlastností budovy, ale i požadavky na výměnu vzduchu. Podle vyhlášky č.410/2005 Sb. se stanoví požadované množství vzduchu na žáka i vyučujícího. Otevření oken a docílit tak požadované výměny je například z energetického hlediska nemožné stejně jako větrání infiltrací a mikroventilací, neboť tím nelze dosáhnout požadovaných parametrů na kvalitu vnitřního prostředí.

Tab 2 - Min. plocha a množství vzduchu dle vyhlášky č. 410/2005 sb

Min. množství vzduchu / 1 osoba	
Žák	Učitel
20 - 30 m ³ /h	50 - 70 m ³ /h

Dané množství není určující věkem ani dobou pobytu v učebně. Kvůli hospodárnosti se doporučuje trvale přivádět venkovní vzduch do učeben v době přítomnosti žáků.

Tab 3 - Množství přiváděného čerstvého vzduchu v učebnách

Typ prostoru	Množství vzduchu [m ³ .hod-1]
Učebny	20-30 na 1 žáka
Tělocvičny	20-90 na 1 žáka*
Šatna	20 na 1 žáka
Umyvárny	30 na 1 umyvadlo
Sprchy	150-200 na 1 sprchu
Záchody	50 na 1 kabinu, 25 na 1 pisoár

Nejčastěji jsou pro zajištění větrání využívány ventilační systémy, které přivádějí do interiérů venkovní vzduch a zajišťují odtah vnitřního vydýchaného vzduchu s vysokou vlhkostí, zápachy a výpary. Tyto systémy mohou využívat naměřené hodnoty koncentrace CO₂ pro spojitě řízení svého výkonu, a tak udržovat vnitřní koncentraci CO₂ na nebo pod požadovanou maximální hodnotou. Takovéto systémy jsou obzvláště užitečné pro prostory s proměnným počtem lidí. Výkon ventilace se pak průběžně mění v závislosti na počtu lidí, kteří se nacházejí ve větraném prostoru. Na základě měření koncentrace CO₂ ve vzduchu pak mohou moderní ventilační systémy zajišťovat optimální kvalitu vzduchu v odvětrávaných prostorách nezávisle na počtu přítomných lidí. Vzduchotechnické zařízení, které příslušný prostor zásobuje, je možné regulovat několika způsoby.

5.2.1 Povolení chodu

Jedná se o nejjednodušší a obvykle nejúčinnější způsob řízení. Ventilační systém se sepne pouze tehdy, dojde-li k překročení nastavené koncentrace škodlivin. Důležitým parametrem je v tomto případě hystereze, což je rozdíl mezi hodnotou, při níž jednotka zapíná, a hodnotou, při níž opět vypíná.

Pokud je tato hystereze příliš velká, kvalita vzduchu kolísá. Pokud je ovšem příliš malá, jednotka spíná častěji než při správně nastavené hysterezi, což znamená vyšší počet startů, a tedy větší opotřebení. Hodnota hystereze závisí na kubatuře větraného prostoru, výkonu vzduchotechniky, umístění čidla i dalších faktorech.

Tento způsob řízení můžeme použít pouze tehdy, slouží-li vzduchotechnika jenom k provětrávání a nemá za úkol pokrývat tepelné ztráty.

5.2.2 Frekvenční měnič

Vzduchotechnická jednotka je doplněna o frekvenční měnič, který plynule řídí otáčky ventilátoru, a tím průtok přiváděného a odtahovaného vzduchu. Je třeba posoudit, zda je motor pro provoz s frekvenčním měničem vhodný. U ventilátorů se závislým chlazením nemusí být motor při poklesu otáček dostatečně chlazen, motory vyžadují zvláštní izolaci.

5.2.3 Řízené větrání s rekuperací

Rekuperační systém je tvořen centrální nebo decentrální rekuperační jednotkou, která přivodní vzduch filtruje a také ohřívá na požadovanou teplotu. Řízení kvality vzduchu je zajištěno většinou automaticky dle čidel CO₂, časovým programem nebo různou kombinací uvedeného. Rekuperace

vzduchu je zajištěna pomocí výměníku zpětného získání tepla. Nejnovější technologie u výměníků dokáže z odváděného vzduchu získat až 90 % energie a předat ji přívodnímu vzduchu.

Rekuperační jednotka umožňuje přivádět hygienickou dávku čerstvého vzduchu pro daný objekt. Jednotka zajistí řízenou výměnu vzduchu, filtraci vzduchu a za pomoci vestavěného rekuperačního výměníku snižuje náklady na větrání daného prostoru.

5.2.4 Automatické řízení výkonu ventilace pouze podle znečištění vzduchu a podle požadované teploty vzestupně

Čím je vyšší rozdíl teplot, tím je vyšší výkon ventilace. Regulátor se tedy snaží dohřát prostor i pomocí zvýšení množství přiváděného teplého vzduchu. Zároveň je ventilátor řízen podle obsahu CO₂, při čemž platí vždy větší z hodnot. Ventilátor tedy běží na tím vyšší otáčky, čím je v místnosti vyšší obsah CO₂ nebo čím je potřeba více topit.

6 Modelování

V dnešní době jsou modely, které umožňují určovat jakýkoliv zdroj látek znečišťující ovzduší. Zdrojem těchto látek mohou být libovolné látky uvolňující předem definované množství nečistot s definovanými vlastnostmi. Důležité je mít znalosti k určování parametrů jednotlivých látek.

Při modelování obytných budov se především uvažuje jako zdroj nečistot oxid uhličitý vytvářený především lidmi (vydechaný vzduch).

Díky univerzalitě systémů je možné kromě výhradně užívaného lidského zdroje definovat také spotřebiče či jiné zdroje vytvářející oxid uhličitý.

6.1 Modely šíření CO₂

6.1.1 CFD modely

Computational fluid dynamics model je založen na numerickém řešení Navier-Stokesovy rovnice, která modeluje tekutiny jako soubor infinitizimálně malých bodů. Využívá se především pro simulaci šíření znečišťujících látek uvnitř jedné místnosti. CFD je jako jediný model schopen řešit turbulentní proudění. Model je časově náročný, a proto nelze v současné době účinně simulovat šíření CO₂ pomocí CFD modelů v celé budově.

Příkladem CFD modelů jsou STAR-CD, EXACT3, FLOVENT, FLUENT

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) = -\nabla p + \nabla \cdot T + \vec{f}$$

kde:

- v ... Rychlost pohybu
- ρ ... Hustota látky
- p ... Tlak
- t ... Čas
- f ... Součet objemových sil
- T ... Tenzor napětí

Příklad Navier-Stokesovy rovnice

6.1.2 Mono-zone modely

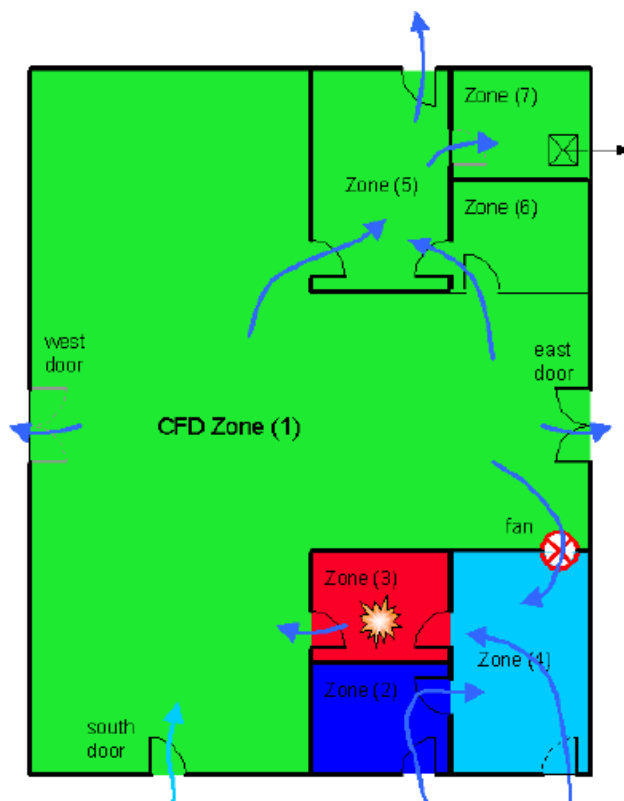
Mono-zone modely uvažují, že v celé budově je vzduch dobře promísen a jeho vlastnosti jsou homogenní a izotropní. Díky tomuto předpokladu, který je v praxi nesplnitelný, jsou tyto modely nepřesné a použitelné v omezeném spektru aplikací.

Příkladem mono-zone modelu je AIDA.

6.1.3 Multi-room modely

Tyto modely vycházejí z mono-zone modelu. Pro simulaci je budova rozdělena do jednotlivých zón (místností). Jednotlivé místnosti jsou charakterizovány tlakem, teplotou, objemem, zdroji znečištění a diskrétními spoji, převádějící vzájemné působení mezi jednotlivými místnostmi. Předpokládá se, že koncentrace znečišťujících látek, tlak a teplota je v každém bodě dané zóny konstantní.

Příkladem multi-room modelů jsou CONTAM, COMIS, HOT2000, DOE, Type 56TRNSYS, EnergyPlus.



Obr. 8: Grafický výstup multi-room modelu, program COMIS

6.1.4 Zonal modely

Jedná se o zpřesňující multi-room model. Zde se za zónu neuvažuje místnost, ale jednotlivé místnosti jsou rozděleny do několika zón. I když požadavky na uživatele značně vzrostly, je oproti multi-roomu zpřesnění velice malé.

Příkladem zonal modelů je POMA nebo CWSZ. Při rozdělení místnosti na několik zón lze docílit stejného výsledku použitím např. CONTAM či COMIS (multi-room modelu).



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČÁST B – EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

PART B - EXPERIMENTAL PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Kops

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OLGA RUBINOVÁ, Ph.D.

BRNO 2018

1 Použité přístroje a programy

1.1 Logger Pro

Logger Pro je program pro sběr a analýzu dat od firmy Vernier Software & Technology. Mezi množství jeho funkcí patří i možnost zadávání dat, vkládání dat z dočasného uložení při kopírování nebo ze souborů uložených na disku.

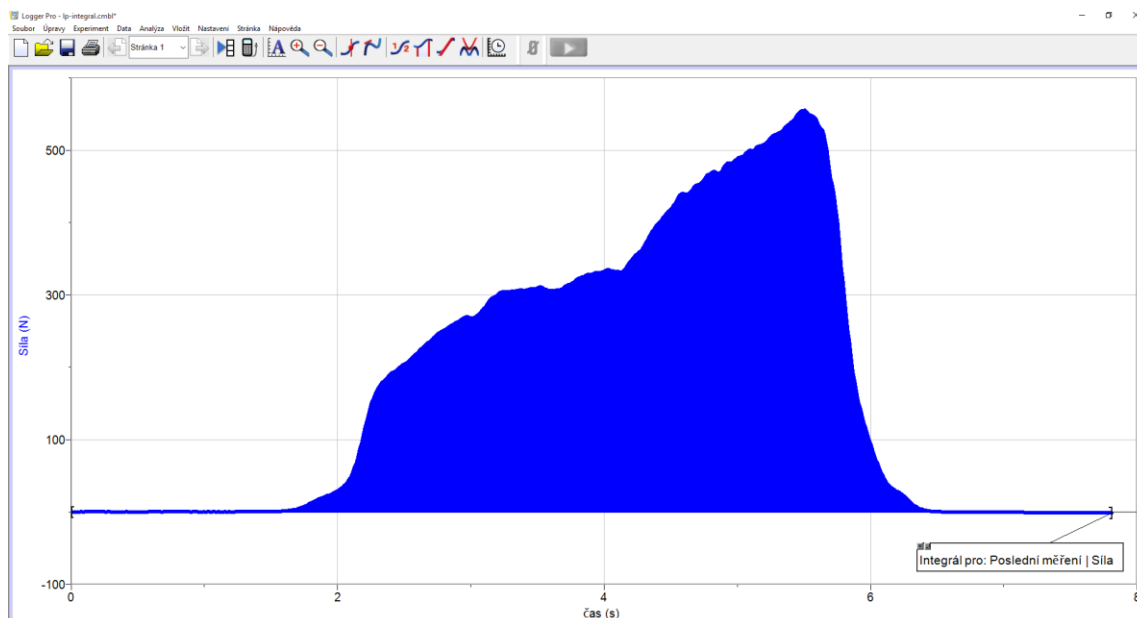
Tento program umožňuje statickou analýzu dat, aproximační křivky a sloupce s výpočtovými daty. Dokáže používat video funkci k pořízení záznamu videa z digitálního fotoaparátu nebo web kamery. Umožňuje i vkládat nahraná videa a synchronizovat je se sběrem dat. Zaznamenaná data lze dále exportovat do Excelu nebo do jiných tabulkových programů.

1.1.1 Získávání dat

Pro získávání dat v programu Logger Pro lze použít několik metod. Například je možnost sbírat data pomocí senzoru. Před sběrem dat je nutné učinit několik kroků. Pro získání potřebných dat se musí k senzoru připojit síťový adaptér nebo baterie. Nutností je ovšem instalace programu. Poté se připojí senzor k USB portu počítače a následně zapne program.

Konfiguraci Logger Pro lze provést pro experiment několika způsoby. Nejčastější jsou tzv. Auto-ID senzory. Při těchto senzorech stačí pouze daný senzor připojit k počítači a spustit software Logger Pro. Ten automaticky identifikuje senzor a zobrazí standardní parametry pro sběr dat. Potom jen stačí kliknout na tlačítko sběr dat a začne jejich sběr.

Po zahájení sběru dat začne program automaticky zakreslovat data do okénka s grafem. Sběr dat se automaticky ukončí po dosažení času vyznačeného na časové ose grafu. Sběr lze také zastavit dříve, a to kliknutím na tlačítko konec sběru.



Obr. 9: Graf sběru dat

Data se nesbírají pouze na základě času. V nastavení sběru dat je možné si nastavit parametry sběru dat pro daný experiment. Lze ku příkladu nastavit, aby sběr byl ukončen po

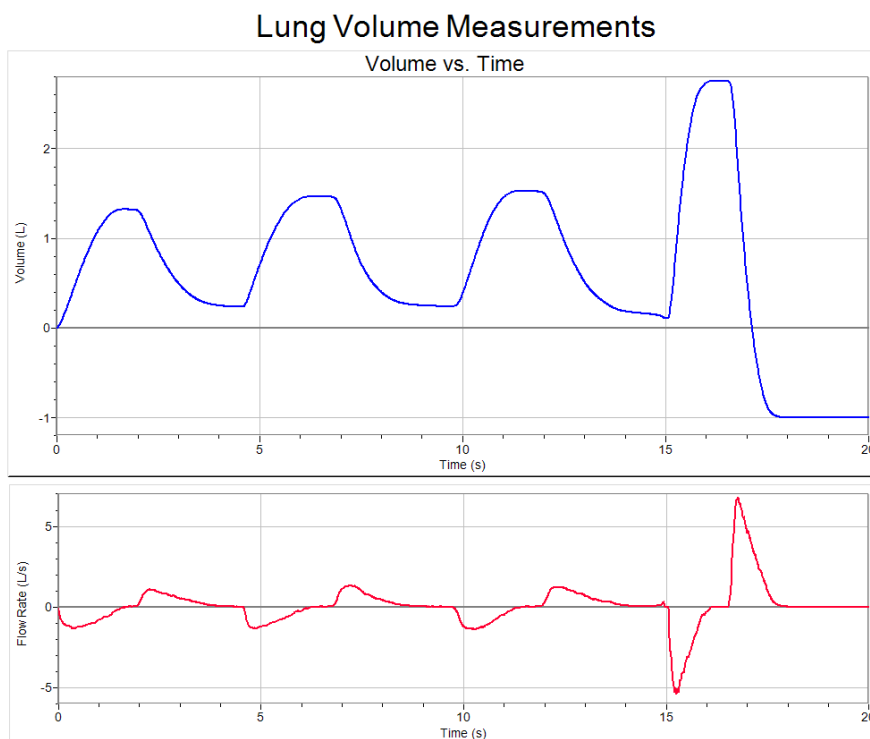
dosažení určitého čísla nebo pokud nedojde k určité události. Data lze zapsat i manuálně. Spustí se Logger Pro bez zapojených senzorů a po otevření okna s tabulkou lze vkládat data, která se automaticky vykreslují do grafu.

1.2 Spirometr SPR - BTA

Tento senzor je vybaven standardní koncovkou – BTA a tu lze připojit k počítači s nainstalovaným programem Logger Pro. Umožňuje popisovat výměnu vzduchu mezi plicemi a atmosférou, studovat průtok vzduchu a měřit kapacitu plic.

Vdechovaný a vydechovaný vzduch prochází skrze měřicí hlavici, jež je opatřena síťovou mřížkou. Čidlo zaznamenává nepatrné změny tlaku na obou stranách mřížky a prostřednictvím připojeného rozhraní je vyhodnocuje.

Možná použití pro toto zařízení jsou měření závislosti objemového průtoku a celkového objemu procházejícího vzduchu na čase, měření expiračního rezervního objemu, vitální kapacity plic a jak se změní průběh dýchání při fyzické zátěži.



Graf 5: Naměřené hodnoty ze spirometru

Čidlo se skládá z oddělitelné měřicí hlavice a převodníku diferenciálního tlaku. Tím lze měřicí hlavici snadno čistit a sterilizovat. Součástí spirometru jsou také vyměnitelné náustky, bakteriální filtr a svorka na nos. Sensor měří v rozsahu 0 až ±10 litrů za sekundu a má pracovní objem 93 ml.



Obr. 10: Spirometr SPR - BTA

1.3 Čidlo oxidu uhličitého

Stejně jako spirometr je i tento senzor vybaven koncovkou – BTA a lze jej tedy připojit k počítači a pracovat s programem Logger Pro. Senzor slouží pro měření koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu. Z důvodu náchylnosti na vodu (do čidla se nesmí dostat žádná kapalina) nesmí být použito pro měření pod vodou.

Tento senzor umožňuje řadu experimentů s oxidací kovů. Dále studium lidského dýchání, růstu a dýchání rostlin a koncentrace kyslíku při rozkladu peroxidu vodíku.

Technické údaje senzoru:

- Rozsah: 0 až 10 000 ppm a 0 až 100 000 ppm
- Relativní vlhkost, při které přístroj může pracovat: 5 % až 95 %
- Čas potřebný k 95% přiblížení ke konečné hodnotě: cca 120 sekund



Obr. 11: čidlo CO₂

2 Praktické měření

Měření bylo prováděno za účelem zjištění množství vdechovaného a vydechovaného vzduchu a množství vyprodukovaného oxidu uhličitého za různých fyzických zatížení. Měření bylo prováděno na sedmi osobách rozdílného věku, s různými zdravotními stavy a fyzickou kondicí.

Osoby byly měřeny během klidové fáze a další dvě měření byla prováděna za fyzické námahy, která byla zajištěna pomocí rotopedu. Aby byla zajištěna podobnost mezi měřeními u všech osob, byla fyzická aktivita podmíněna rychlostí tepové frekvence, která se zvyšovala o 20 tepů za minutu. Množství vzduchu bylo měřeno Spirometr SPR – BTA a množství oxidu uhličitého pomocí čidla CO₂-BTA a uzavřené nádoby.

2.1 Postup měření

Před samotným měřením se zjistí tepová frekvence. Poté se dané osobě zajistí nos kolíčkem, aby nedošlo k odchylce způsobené ztrátou vzduchu nosní dutinou. Poté si osoba vezme náustek spojený s pneumotachogramem (spirometr) připojeným k počítači, který za pomoci programu Logger Pro vykresluje křivky zaznamenaných hodnot. Nejprve se na začátku klidově dýchá. Poté následuje sekvence, kdy se zjišťují vitální kapacity plic. Jedná se o přechod z maximálního nádechu do maximálního výdechu.

Po naměření hodnot pomocí spirometru se připojí k počítači čidlo CO₂-BTA. Jím se zaznamená množství oxidu uhličitého v místnosti, kde probíhá měření. Čidlo je poté umístěno do uzavřené nádoby a po ustálení hodnoty do ní měřená osoba klidně vydechuje. Toto měření už probíhá bez kolíčku, aby nebyl vdechován vzduch o větší koncentraci CO₂. Po určité době (cca 5 min), co se oxid uhličitý ustálí, je jeho nejvyšší naměřená hodnota zapsána.

Tato měření jsou prováděna i za fyzické aktivity na rotopedu, jen se už nejedná o klidové dýchání, ale o přirozené dýchání každé osoby.



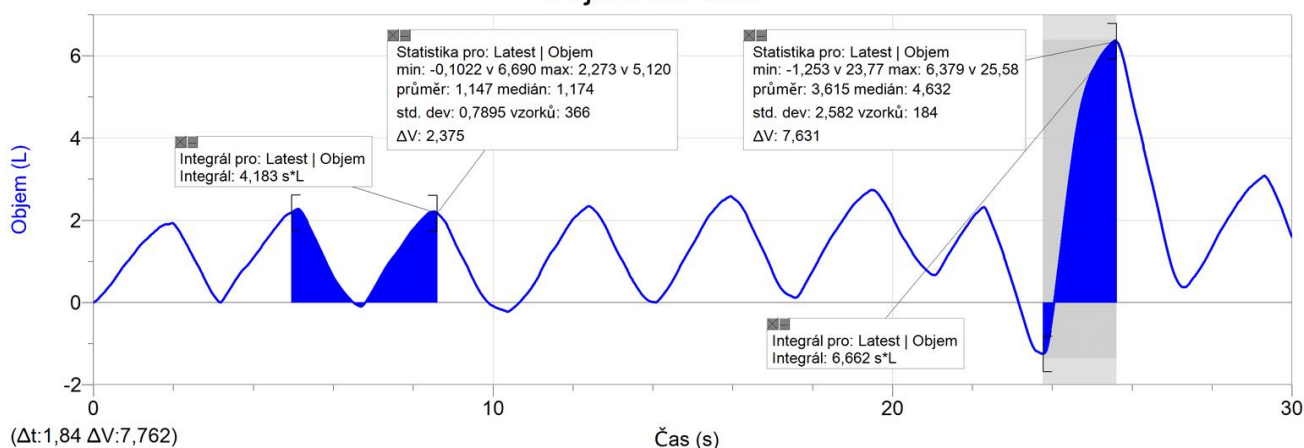
Obr. 12: Spirometrické měření v klidu

2.2 Výstupy měření

Aktivita v tabulce naznačuje, jak je daný jedinec aktivní během týdne. Kolonka měřené hodnoty se vztahuje k probíhající aktivitě při měření. Klidový stav se může přirovnat ke kancelářské práci u počítače a sezení ve školních lavicích. Mírná aktivita (zvednutí tepové frekvence cca o 20 tepů/min) by se dala přirovnat k pocházení po kanceláři a chodbách. Vysoká aktivita by se již týkala běhu v tělocvičně nebo při nějakému sportu. Δt je doba mezi dvěma nádechy (jednoho maxima k sousednímu maximu). Dechový objem se zjišťuje od minima nádechu po jeho maximum v klidu. Vitální kapacitu (VC) zjistíme změřením od absolutního minima k absolutnímu maximumu křivky při maximálním nádechu a výdechu. Hodnotu dechové frekvence, což je kolikrát za minutu se nadechneme, zjistíme výpočtem: $f = 60/\Delta t$. Průtok vzduchu značí kolik litrů vzduchu spotřebujeme za 1 hodinu (zjištěno výpočtem : dechový objem x dechová frekvence x 60 min).

Aktivita		Měřené hodnoty	tep	Δt	dechový objem	VC	dechová frekvence	průtok	CO ₂ nádech	CO ₂ výdech	Produkce CO ₂
aktivní sportovec	1										
občasná aktivita	2										
žádná	3										

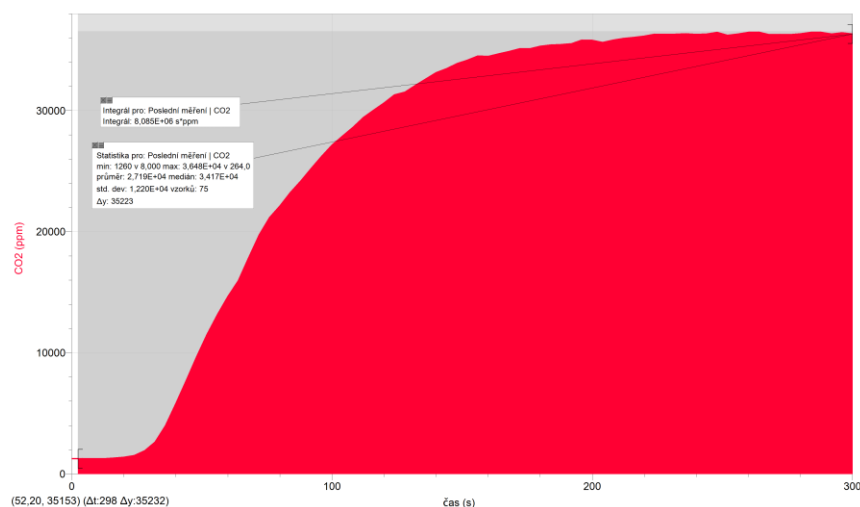
Objem vs. Čas



CO₂ nádech ukazuje množství oxidu uhličitého v měřené místnosti.

CO₂ výdech je maximální hodnota oxidu uhličitého nadýchaná do uzavřené nádoby.

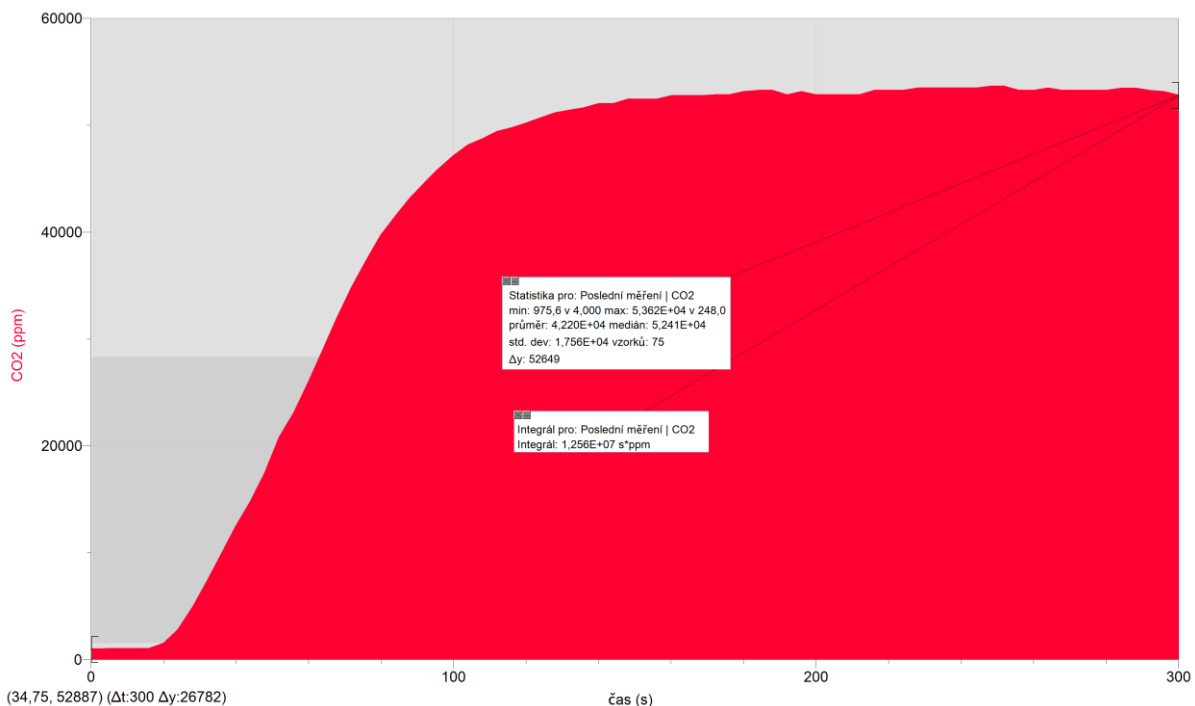
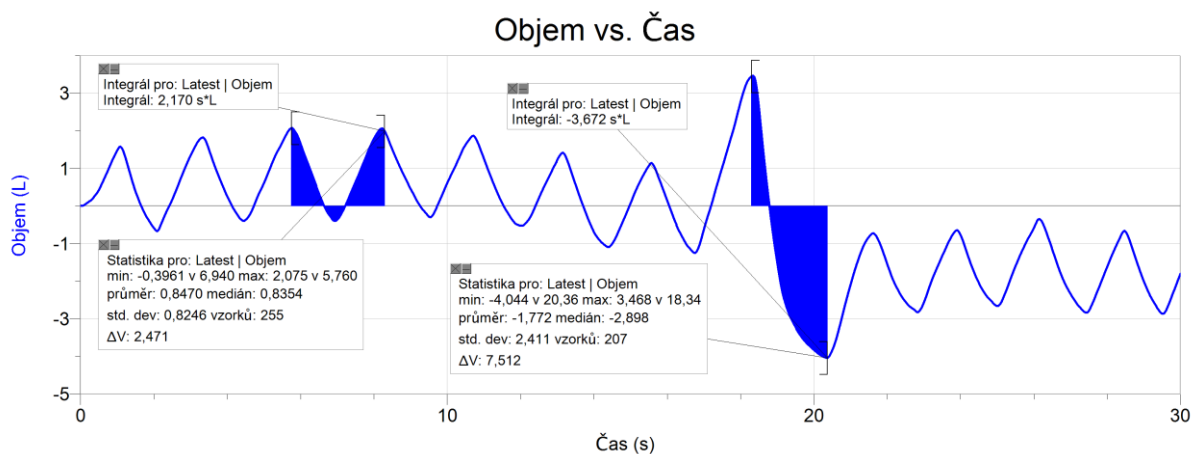
Produkce CO₂ udává, kolik litrů oxidu uhličitého jedinec vyprodukuje za 1 hodinu.



2.2.1 OSOBA 1

Tato osoba netrpí žádnými zdravotními problémy. Vybrané jsou výstupy z vysoké aktivity.

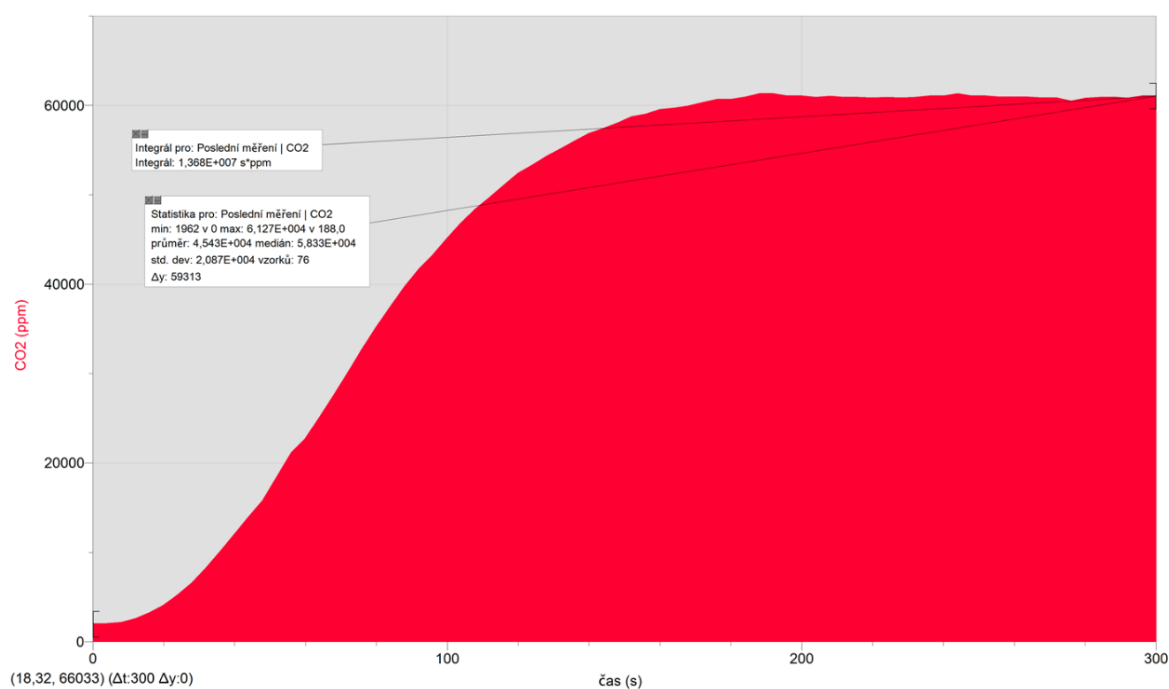
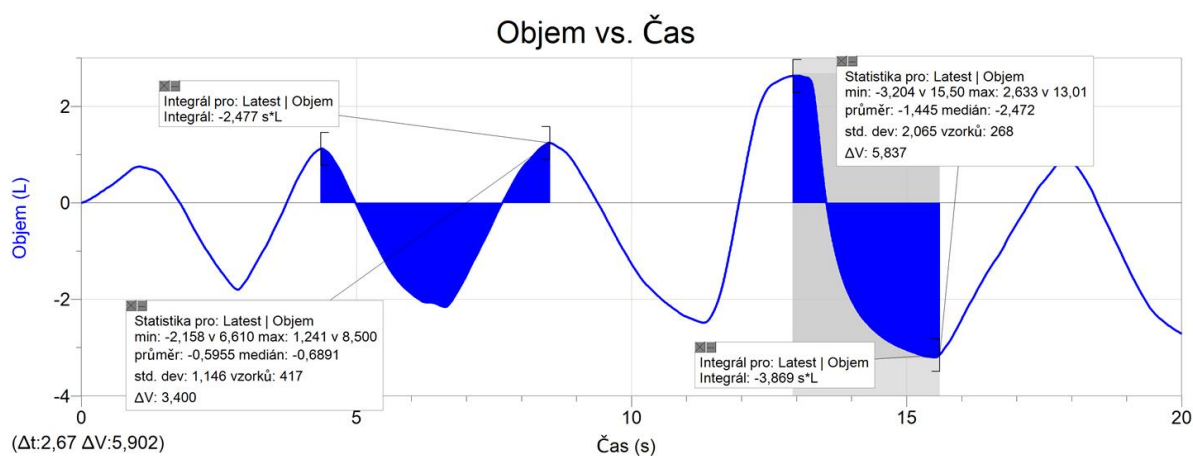
Aktivita		Měřené hodnoty	tep	Δt	dechový objem	VC	dechová frekvence	průtok	CO2 nádech	CO2 výdech	Produkce CO2	
aktivní sportovec	1											
občasná aktivita	2											
žádná	3											
OSOBA 1	Jednotky		1/ min	s	l	l	1/ min	l/h	ppm	ppm	l/h	
	osoba 1.xlsx		klid. aktiv	70	5,44	0,91	7,19	11,03	602,2	827	36482	21
	Pohlaví	Muž										
	věk	24	mírná aktiv	98	4,42	1,65	7,5	13,57	1344	852	46224	61
	výška	183										
	váha	79	vysok. Aktiv	134	2,64	1,75	7,64	22,73	2386	751	53624	126
	aktivita	2										



2.2.2 OSOBA 2

Tato osoba trpí silnými astmatickými problémy. Vybrané jsou výstupy z vysoké aktivity.

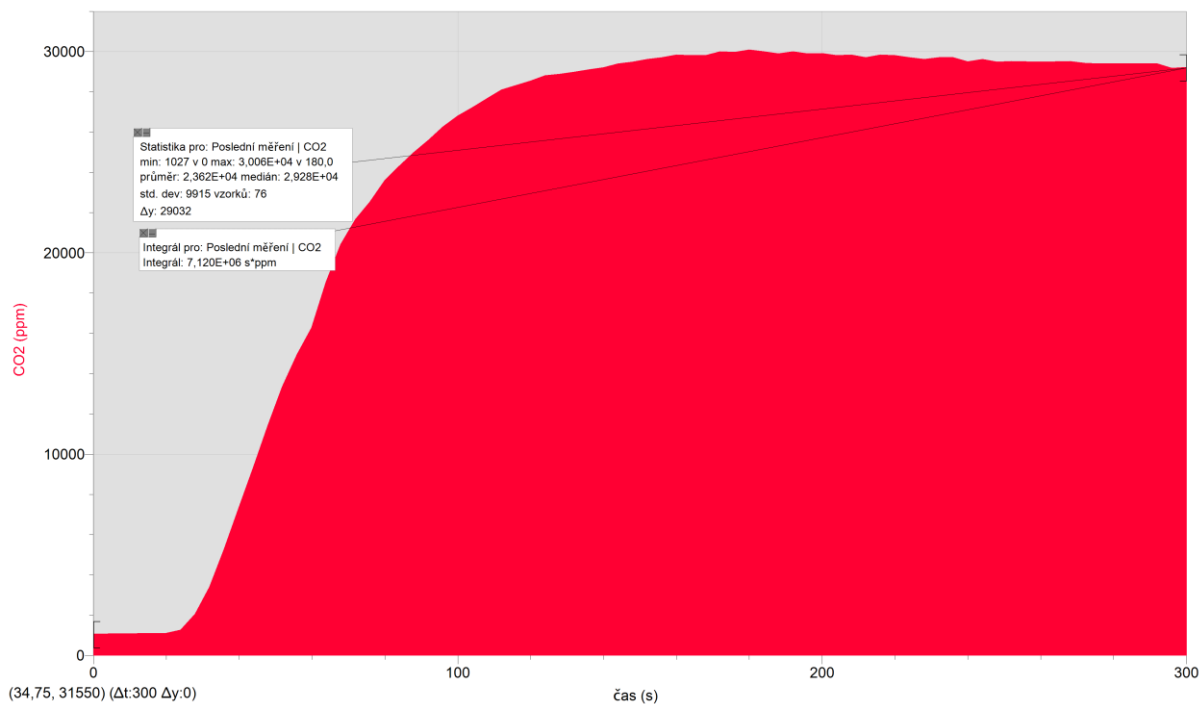
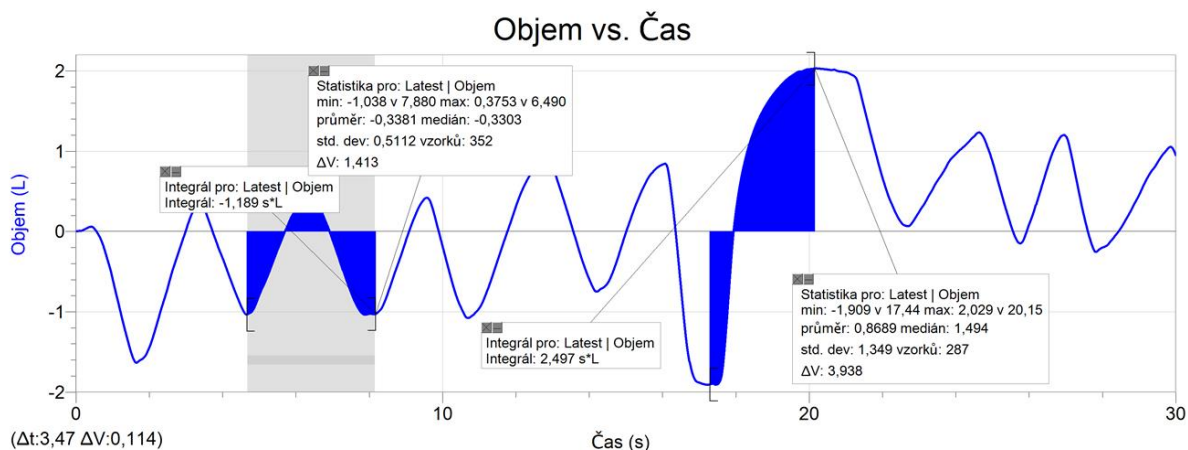
Aktivita		Měřené hodnoty	tep	Δt	dechový objem	VC	dechová frekvence	průtok	CO2 nádech	CO2 výdech	Produkce CO2	
aktivní sportovec	1											
občasná aktivita	2											
žádná	3											
OSOBA 2	Jednotky		1/ min	s	l	l	1/ min	l/h	ppm	ppm	l/h	
	osoba 2.xlsx		klid. aktiv	64	5,89	0,99	5,09	10,2	605,1	624	31335	19
	Pohlaví	Muž	mírná aktiv	88	4,56	1,48	4,86	13,2	1168	1236	48303	55
	věk	50										
	výška	190	vysok. Aktiv	101	4,18	1,24	5,84	14,4	1068	1257	61275	64
	váha	99										
	aktivita	2										



2.2.3 OSOBA 3

Tato osoba trpí srdečními potížemi a astmatem. Vybrané jsou výstupy z vysoké aktivity.

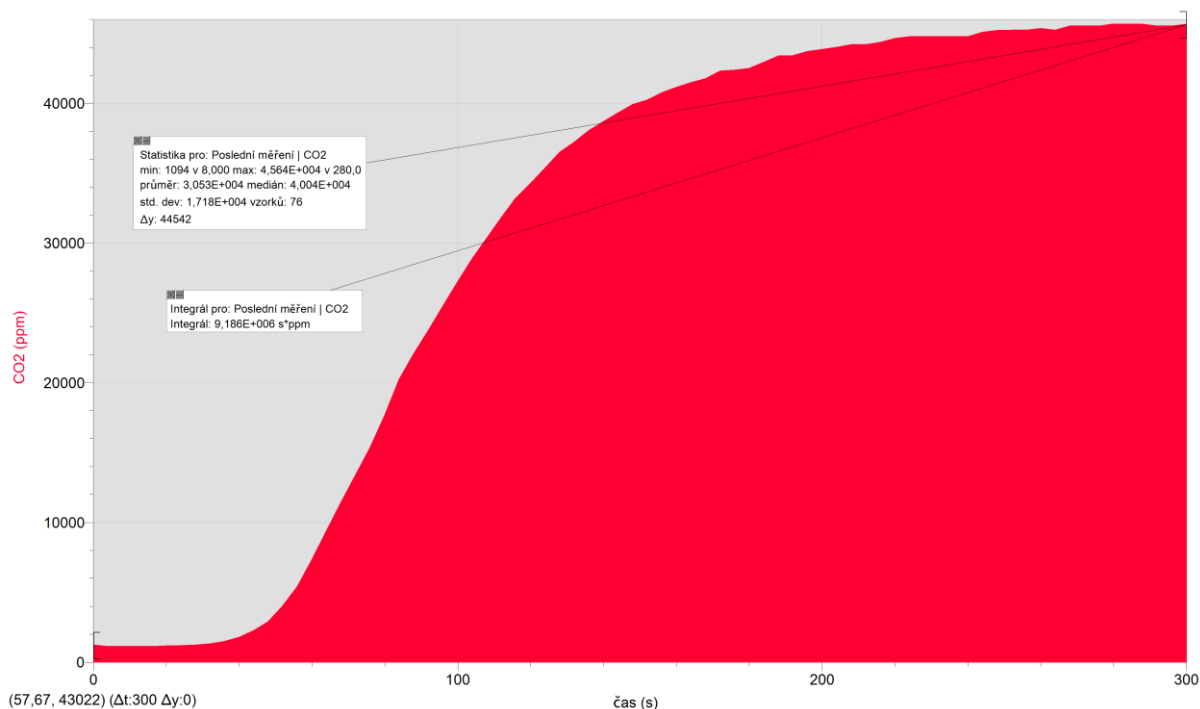
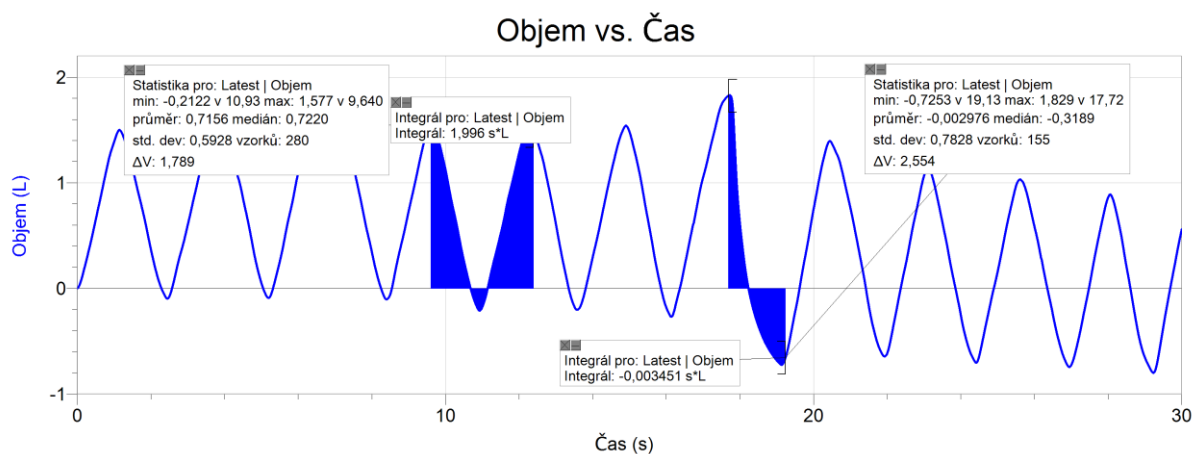
Aktivita		Měřené hodnoty	tep	Δt	dechový objem	VC	dechová frekvence	průtok	CO2 nádech	CO2 výdech	Produkce CO2	
aktivní sportovec	1											
občasná aktivita	2											
žádná	3											
OSOBA 3	Jednotky		1/ min	s	l	l	1/ min	l/h	ppm	ppm	l/h	
	osoba 3.xlsx		klid. aktiv	66	7,44	1,06	4,25	8,06	512,9	598	34617	17
	Pohlaví	Žena										
	věk	47	mírná aktiv	80	5,79	2,37	4,68	10,36	1474	1192	38178	55
	výška	180										
	váha	80	vysok. Aktiv	102	3,42	1,06	3,96	17,54	1116	1152	30059	32
aktivita	2											



2.2.4 OSOBA 4

Jedná se o nejstarší měřenou osobu trpící cukrovkou. Vybrané jsou výstupy z vysoké aktivity.

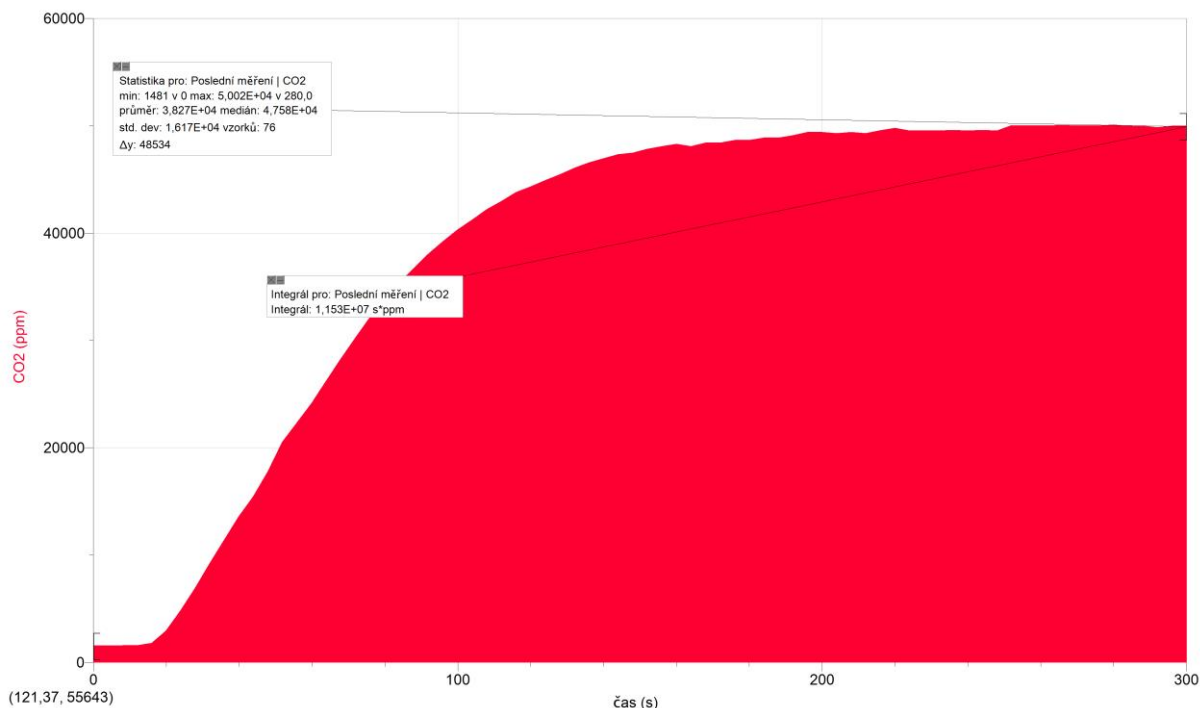
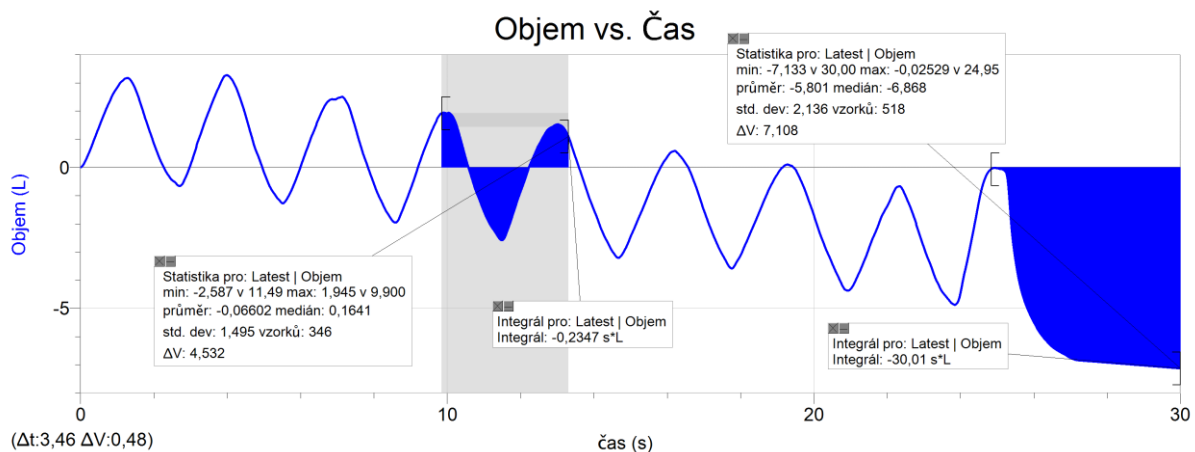
Aktivita		Měřené hodnoty	tep	Δt	dechový objem	VC	dechová frekvence	průtok	CO2 nádech	CO2 výdech	Produkce CO2	
aktivní sportovec	1											
občasná aktivita	2											
žádná	3											
OSOBA 4	Jednotky		1/ min	s	l	l	1/ min	l/h	ppm	ppm	l/h	
	osoba 4.xlsx		klid. aktiv	73	7,41	0,51	2,96	8,10	247,8	632	32302	8
	Pohlaví	Žena	mírná aktiv	92	4,29	1,57	2,76	13,99	1317	688	33431	43
	věk	68										
	výška	167	vysok. Aktiv	115	2,8	1,63	2,55	21,43	2096	711	45636	94
	váha	84										
aktivita	3											



2.2.5 OSOBA 5

Tato osoba netrpí žádnými zdravotními problémy. Vybrané jsou výstupy z vysoké aktivity.

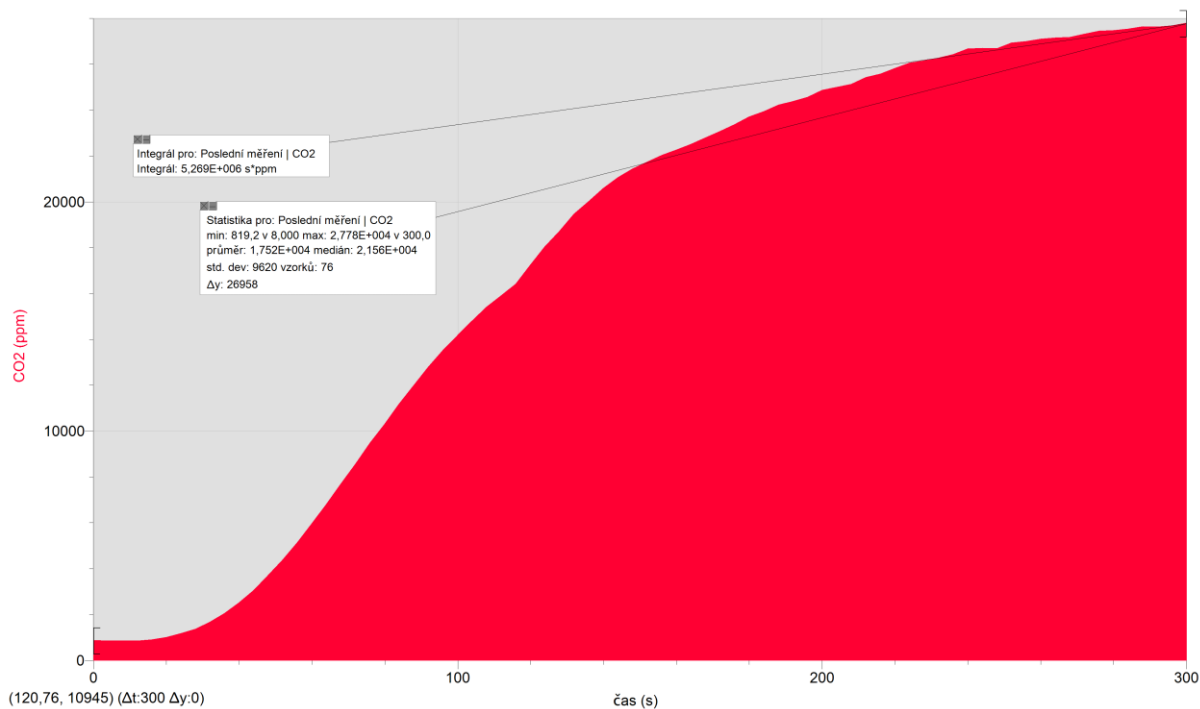
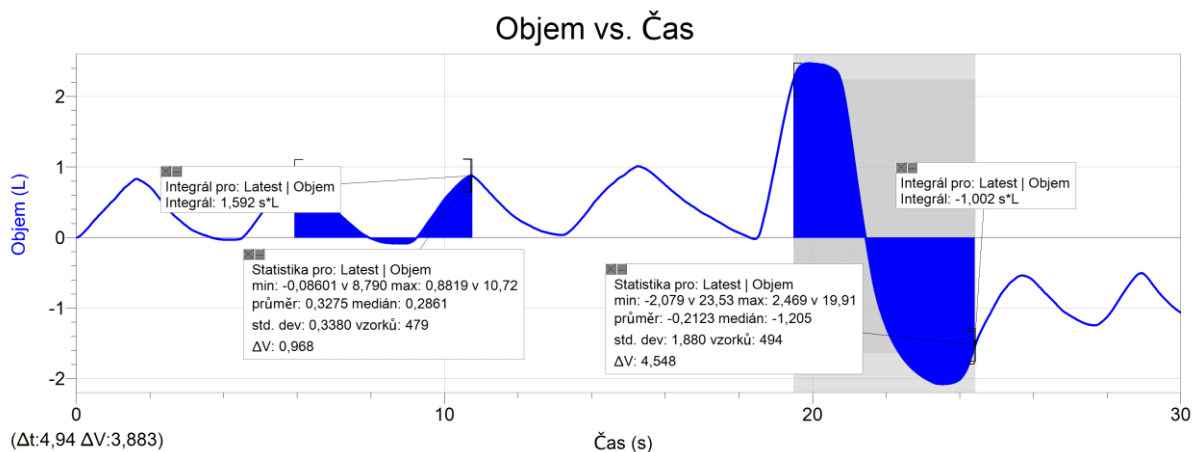
Aktivita		Měřené hodnoty	tep	Δt	dechový objem	VC	dechová frekvence	průtok	CO2 nádech	CO2 výdech	Produkce CO2	
aktivní sportovec	1											
občasná aktivita	2											
žádná	3											
OSOBA 5	Jednotky		1/ min	s	l	l	1/ min	l/h	ppm	ppm	l/h	
	osoba 5.xlsx		klid. aktiv	61	5,18	1,1	6,7	11,58	764,5	682	38064	29
	Pohlaví	Muž										
	věk	29	mírná aktiv	85	4,01	1,33	6,99	14,96	1194	731	46611	55
	výška	190										
	váha	125	vysok. Aktiv	130	3,51	1,94	7,1	17,09	1990	774	50015	98
aktivita	2											



2.2.6 OSOBA 6

Tato osoba netrpí žádnými zdravotními problémy. Vybrané jsou výstupy z klidového stavu.

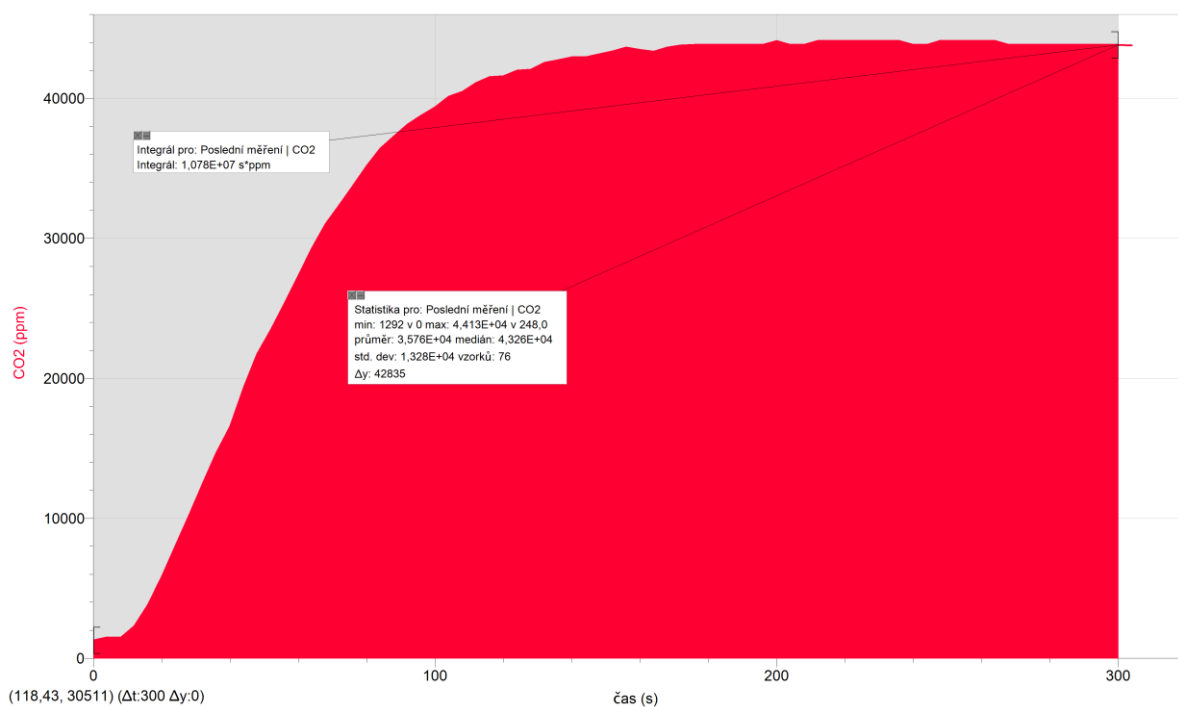
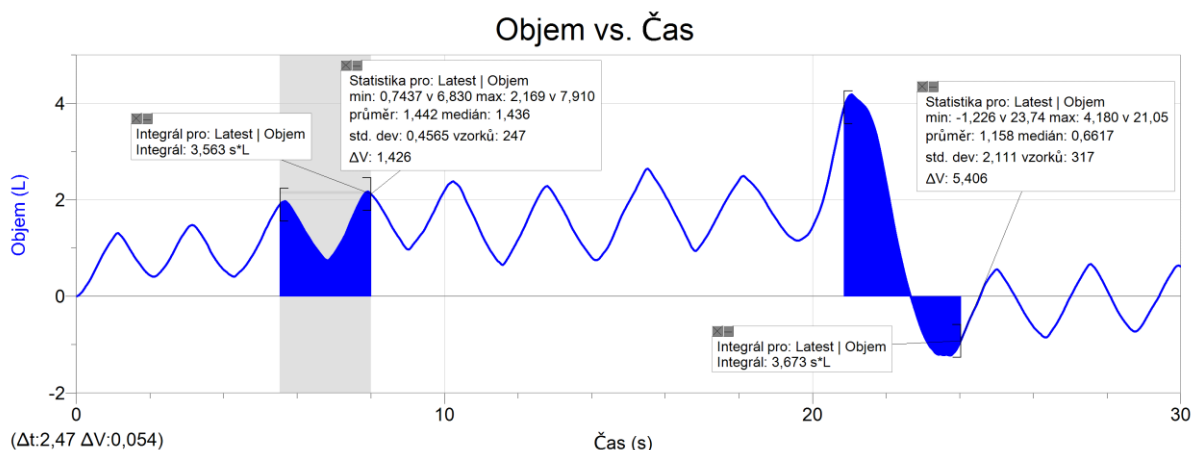
Aktivita		Měřené hodnoty	tep	Δt	dechový objem	VC	dechová frekvence	průtok	CO2 nádech	CO2 výdech	Produkce CO2
aktivní sportovec	1										
občasná aktivita	2										
žádná	3										
OSOBA 6		Jednotky	1/ min	s	l	l	1/ min	l/h	ppm	ppm	l/h
osoba 6.xlsx		klid. aktiv	72	4,79	0,88	4,55	12,53	661,4	776	27778	18
Pohlaví	Žena	mírná aktiv	107	2,66	0,97	4,33	22,56	1313	827	40204	52
věk	21										
výška	181	vysok. Aktiv	142	2,97	1,5	4,7	20,2	1818	794	45817	82
váha	94										
aktivita	2										



2.2.7 OSOBA 7

Tato osoba netrpí žádnými zdravotními problémy. Vybrané jsou výstupy z klidového stavu.

Aktivita		Měřené hodnoty	tep	Δt	dechový objem	VC	dechová frekvence	průtok	CO2 nádech	CO2 výdech	Produkce CO2	
aktivní sportovec	1											
občasná aktivita	2											
žádná	3											
OSOBA 7	Jednotky		1/ min	s	l	l	1/ min	l/h	ppm	ppm	l/h	
	osoba 7.xlsx		klid. aktiv	73	3,69	1,02	3,78	16,26	995,1	827	33105	32
	Pohlaví	Muž										
	věk	27	mírná aktiv	91	3,99	1,52	4,77	15,04	1371	787	36997	50
	výška	187										
	váha	91	vysok. Aktiv	112	2,4	1,95	5,4	25	2925	789	44127	127
aktivita	2											

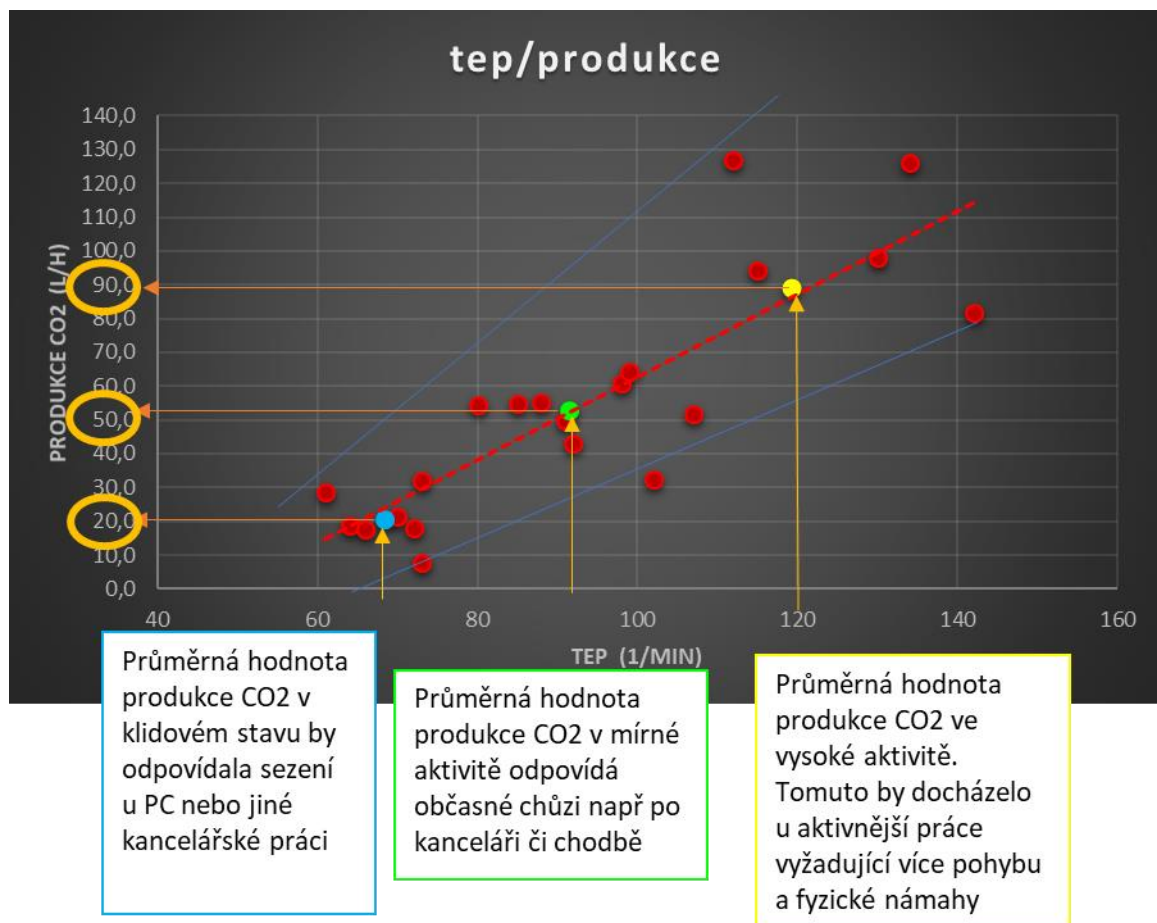


2.3 Vyhodnocení měření

Kvůli snadnějšímu a přehlednějšímu vyhodnocení naměřených hodnot pro jednotlivé typy fyzické aktivity byly tyto hodnoty vloženy do jednotlivých grafů. Grafy byly sestaveny pro zjištění jednotlivých závislostí mezi hodnotami. Každým grafem byla proložena lineární spojnice a vloženy průměrné hodnoty v klidovém stavu, mírné a vysoké aktivitě.

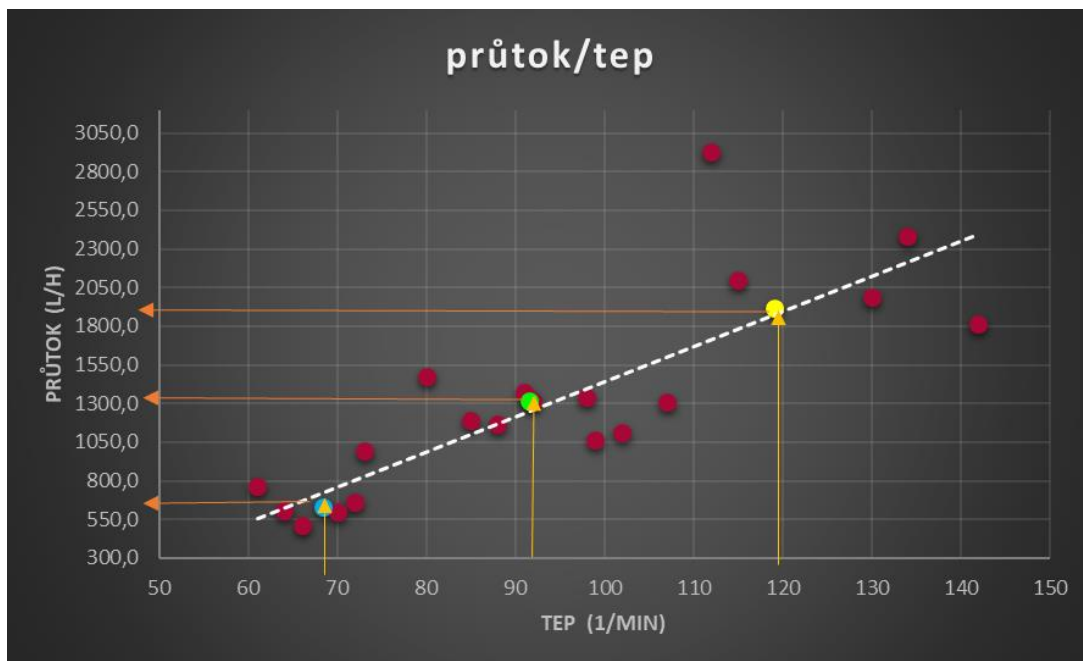
2.3.1 Graf závislosti tepu na produkci oxidu uhličitého

Zde je možno dobře vidět jednotlivé shluky bodů pro různé aktivity. V klidovém stavu je vidět, že rozdíl mezi jednotlivými měřeními osobami není tak znatelný jako u mírné aktivity, kde je již vidět větší rozptyl. Ovšem opravdu znatelný rozptyl je vidět u vysoké aktivity. Je zde vidět, že i když máme poměrně shodnou produkci CO₂ v klidovém stavu, při větší aktivitě jsou produkce díky našim fyzickým a zdravotním rozdílům znatelnější.



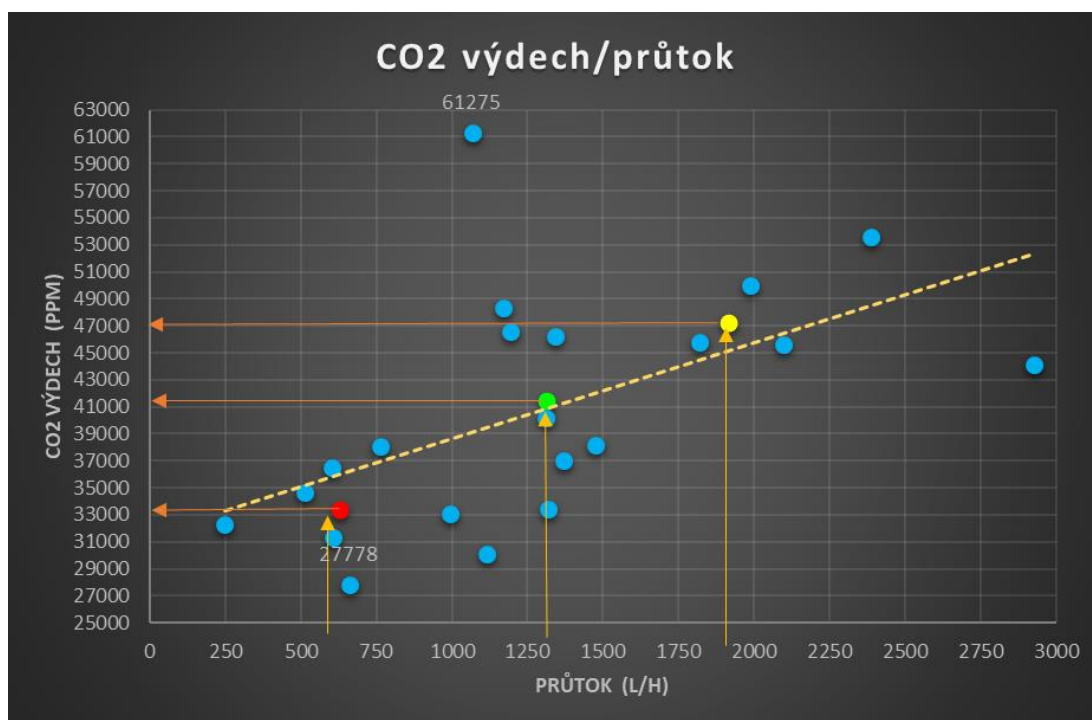
2.3.2 Graf závislosti průtoku vzduchu na tepu

V tomto grafu jsou patrné shluky bodů pro jednotlivé typy aktivit a stejně jako u grafu závislosti tepu na produkci oxidu uhličitého jsou zde vidět zvětšující se odchylky v závislosti na zvětšující se tepové frekvenci.



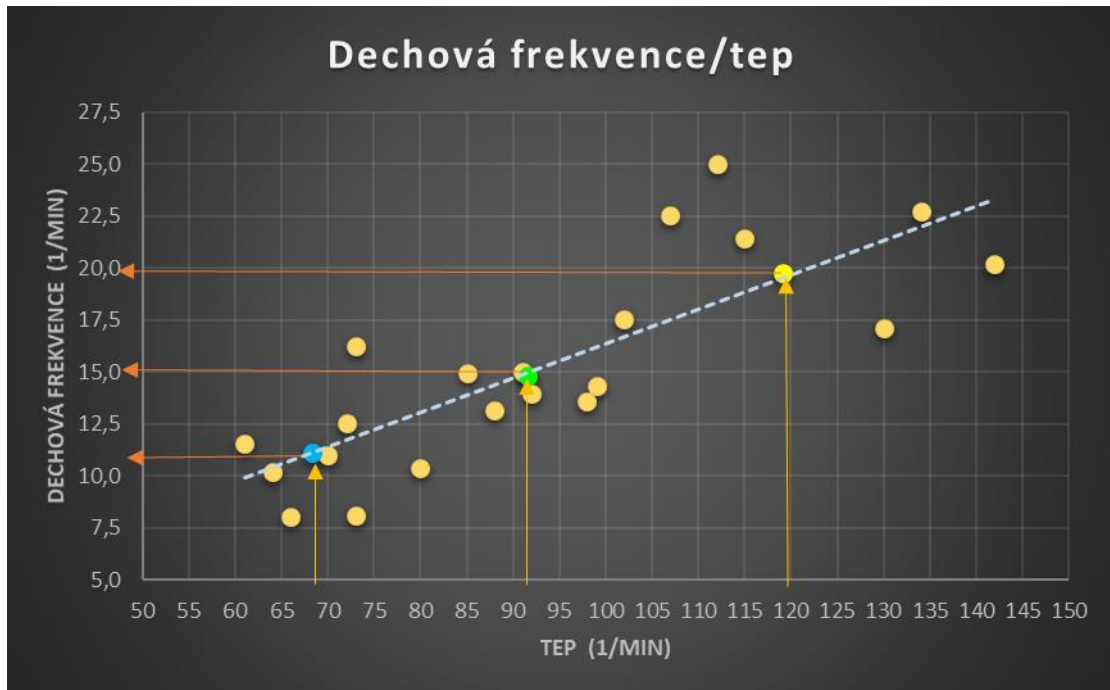
2.3.3 Graf závislosti vydechaného CO2 na průtoku

Na tomto grafu už nejsou patrné shluky bodů pro jednotlivé aktivity. Je zde vidět, jak při stoupajícím průtoku (množství vzduchu vydechaného za hodinu) rovnoměrně stoupá množství vydechaného CO₂. Je zde vidět i znatelné vychýlení při nízkém průtoku extrémního množství vydechaného oxidu uhličitého (Osoba č.2 s astmatem).



2.3.4 Graf závislosti dechové frekvence na tepu

Na tomto grafu už nejsou patrné shluky bodů pro jednotlivé aktivity. Je zde vidět, jak při stoupajícím tepu rovnoměrně stoupá dechová frekvence.



2.4 Aplikace výsledků

Na stanovení potřebné dávky čerstvého vzduchu pro osoby v zadaném typovém objektu (administrativní budova), jsem použil Max von Pettenkoferovu podmínku. S přihlédnutím na vyšší koncentraci oxidu uhličitého ve venkovním prostředí v dnešní době, než v době vzniku této podmínky (tj. v roce 1877), jsem změnil maximální koncentraci CO₂ v interiéru z 0,1% objemu (1000 ppm) na 0,13% objemu (1300 ppm) a venkovní hodnotu z 350 ppm na 500 ppm.

2.4.1 Dávka vzduchu pro klidový stav

$$V_p = \frac{m_{CO_2}}{k_{i,max} - k_e} = \frac{20,56 \cdot 10^{-3}}{(1300 - 500) \cdot 10^{-6}} = 25,7 = 26 \text{ m}^3/\text{h}$$

m_{CO_2} průměrná hodnota produkce CO₂ v klidovém stavu

$k_{i,max}$ maximální koncentraci CO₂ v interiéru

k_e koncentraci CO₂ ve venkovním vzduchu

2.4.2 Dávka vzduchu pro střední aktivitu

$$V_p = \frac{m_{CO_2}}{k_{i,max} - k_e} = \frac{52,82 \cdot 10^{-3}}{(1300 - 500) \cdot 10^{-6}} = 66 \text{ m}^3/\text{h}$$

2.4.3 Dávka vzduchu pro vyšší aktivitu

$$V_p = \frac{m_{CO_2}}{k_{i,max} - k_e} = \frac{89,04 \cdot 10^{-3}}{(1300 - 500) \cdot 10^{-6}} = 111,3 = 112 \text{ m}^3/\text{h}$$

3 Závěr

V provedeném měření produkce CO₂ v různých fyzických aktivitách jednotlivých osob jsem pomocí měření se Spirometrem SPR – BTA, čidla CO₂ při zvolených vnitřních hodnotách vypočítal množství vzduchu při klidové činnosti 26 m³/h. Tato hodnota se blíží hodnotě přiváděného množství vzduchu jenž podle nařízení vlády č.361/2007 pro osobu vykonávající práci v sedě s mírnou aktivitou činí 25 m³/h.

Dále na základě zvoleného množství oxidu uhličitého v objektu a podle venkovní koncentrace CO₂ jsem pomocí evropské normy ČSN EN 13779 určil, že kvalita vnitřního vzduchu (IDA) spadá do třídy IDA 3 tedy Středně nízká kvalita.

Tab 4 – Třídy kvality vzduchu podle ČSN EN 13779

třída	popis	Typická koncentrace CO ₂ nad hodnotu vnějšího vzduchu	Což pro město s ke = 500 ppm znamená
IDA 1	Vysoká kvalita	350	850
IDA 2	Střední kvalita	500	1000
IDA 3	Středně nízká kvalita	800	1300
IDA 4	Nízká kvalita	1200	1700



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČÁST C – PRAKTICKÁ ČÁST

PART C - CALCULATION PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Kops

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

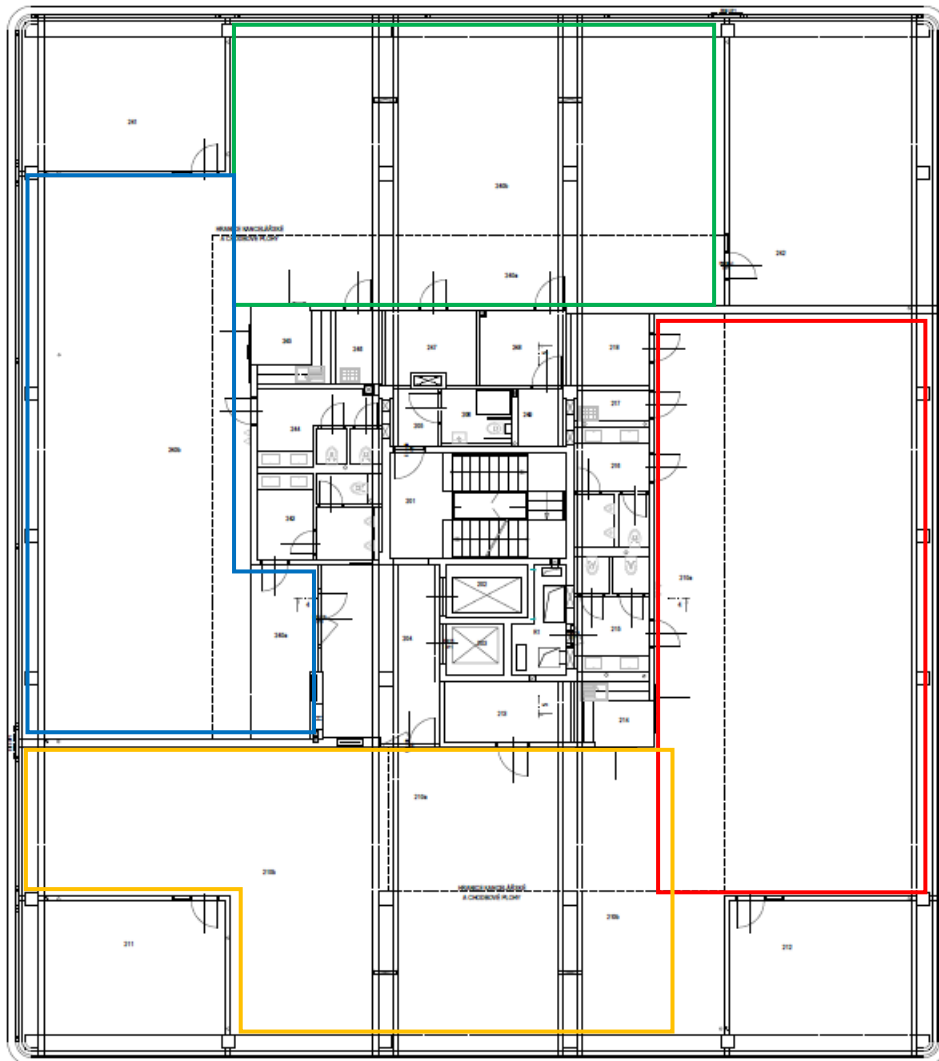
Ing. OLGA RUBINOVÁ, Ph.D.

BRNO 2018

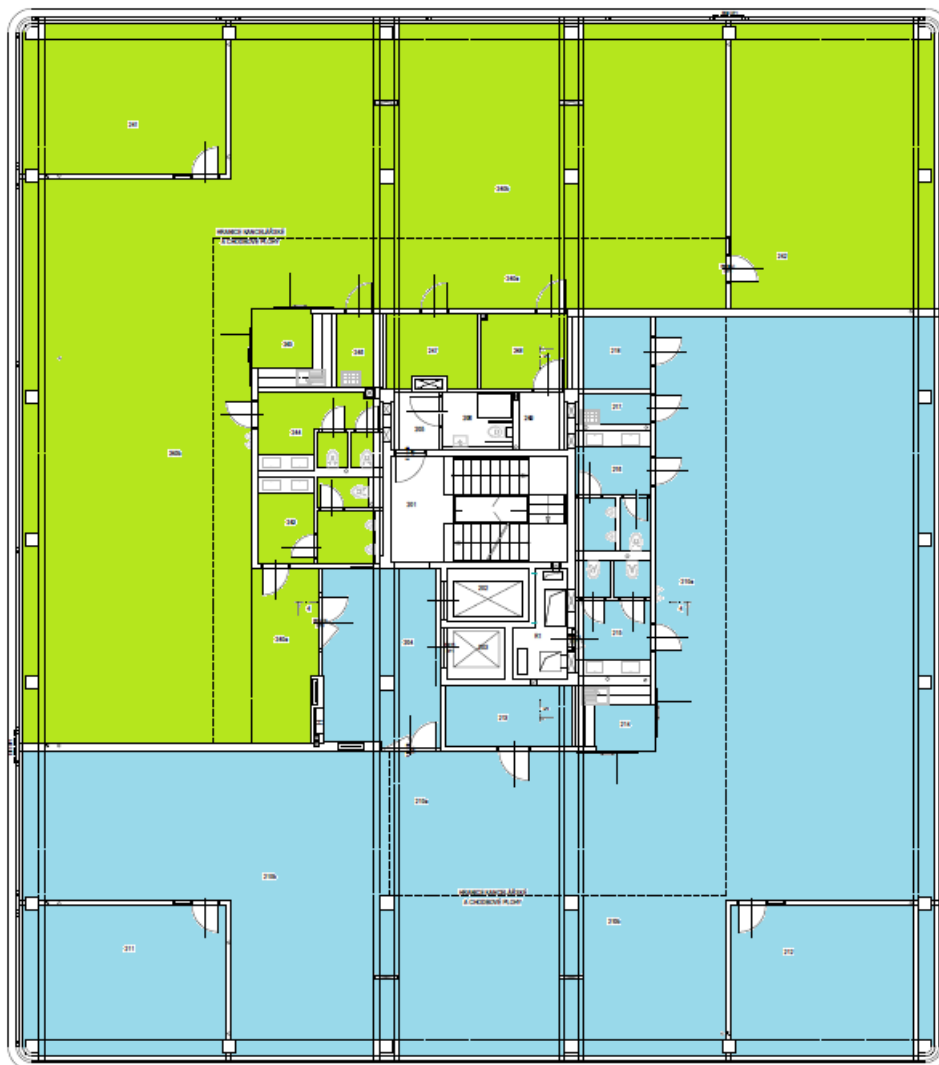
1 SEZNÁMENÍ

Aplikace výsledů je provedena na zadané stavbě, již je prosklená administrativní budova se skeletovou konstrukcí. V budově se řeší tři podlaží o stejném uspořádání místností. Na ně byly aplikovány zjištěné výsledky pro produkci oxidu uhličitého v klidovém stavu a jeho potřebu přívodu čerstvého vzduchu. Pro zjištění celkového množství přiváděného vzduchu bylo počítáno s nutným přiváděným množstvím vzduchu $26 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu.

Pro jednotlivé místnosti bylo spočteno potřebné množství vzduchu podle přítomných osob v pracovní době. Na každém patře se nacházejí však dvě větší místnosti, které jsme s ohledem na jejich velikost a případné nerovnoměrné rozdělení osob v nich, rozdělili na dvě.



1.1 Rozdělení objektu do funkčních celků



ZAŘÍZENÍ Č. 1



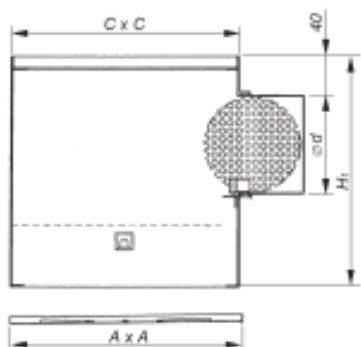
ZAŘÍZENÍ Č. 2

2 NÁVRH DISTRIBUČNÍCH PRVKŮ

Jednotlivé distribuční prvky byly navrženy na základě druhu provozu v daných místnostech s ohledem na hluk a rychlost proudění vzduchu.

2.1 Anemostat smay ns-9

Anemostaty se čtyřhrannou čelní deskou a přípojovací skříní.

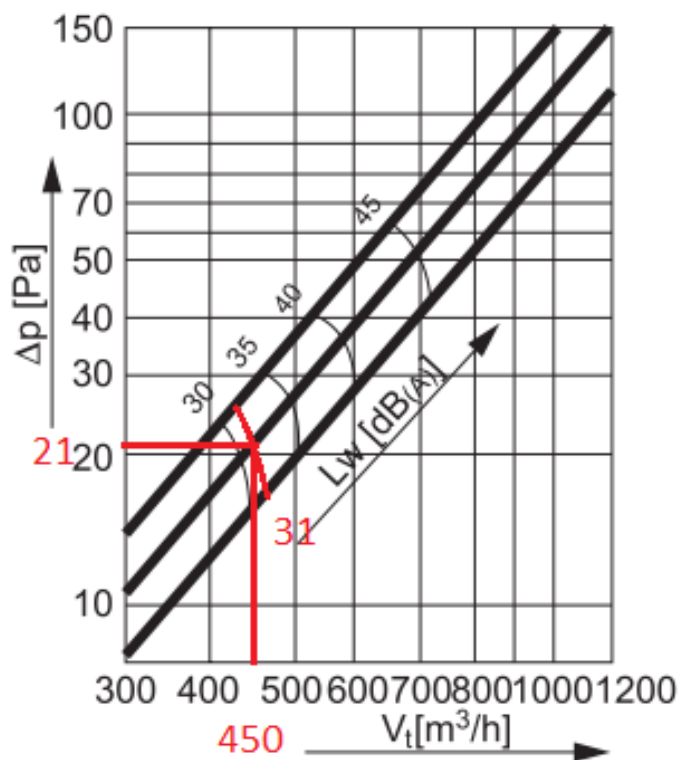


Rozměr	A	øD ₁	øD	C _K	C _R	H ₁	H ₂	ød
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	m ²
310	308	310	304	300	325	290	200	158
400	398	400	394	390	422	330	300	198
500	498	500	488	490	510	380	300	248
600	598	600	590	590	635	380	300	248
625	623	625	590	590	635	380	300	248
800	798	800	790	790	815	450	300	313

Obr. 13: Specifikace výustě NS-9 [11]

2.1.1 Stanovení tlakové ztráty, akustického výkonu

NS-9/K vel. 500



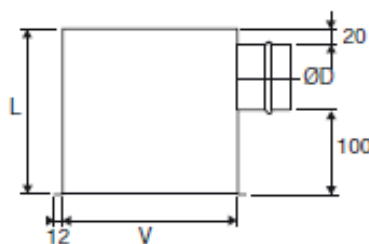
Graf 6: Odečet tlakové ztráty, akustického výkonu NS-9 [11]

2.2 Obdélníková vyústka – VKE, PBZI-H plenum box izol. s horizontálním připojením



PBZ-H / PBZI-H

rozměry		Ø D	počet hrdel pro připojení
Š × V	L		
400x75	200	80	2
500x75	200	80	2
600x75	200	80	2
800x75	200	80	2
1000x75	200	80	3



PBZ-H

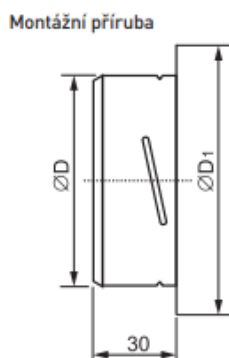
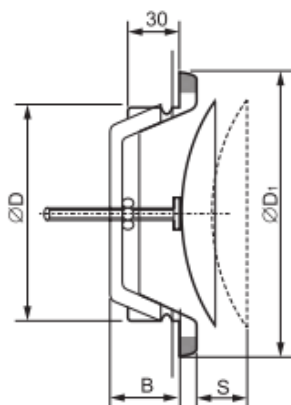
Obr. 14: Specifikace PBZI-H [11]

2.2.1 Stanovení tlakové ztráty, akustického výkonu

Typ	A _k [m ²]	Q [m ³ /h]		L _{wa} [dB(A)]		X _{0,25} [m]		Δp _t [Pa]	
		min	max	min	max	min	max	min	max
VKE 200x100	0,0088	110	220	22	41	2,4	4,8	5	20
VKE 300x100/200x150	0,0144	180	350	25	42	3,1	6,0	5	20
VKE 400x100/200x200	0,0200	240	490	25	44	3,5	7,2	5	20
VKE 300x150	0,0228	280	550	26	45	3,8	7,5	5	20
VKE 500x100	0,0256	310	620	27	45	4,0	8,0	5	20
VKE 600x100/400x150/300x200	0,0311	380	760	28	46	4,5	8,9	5	20
VKE 700x100	0,0367	450	890	29	47	4,9	9,6	5	20

Tab 5 - tlakové ztráty, akustického výkonu VKE [11]

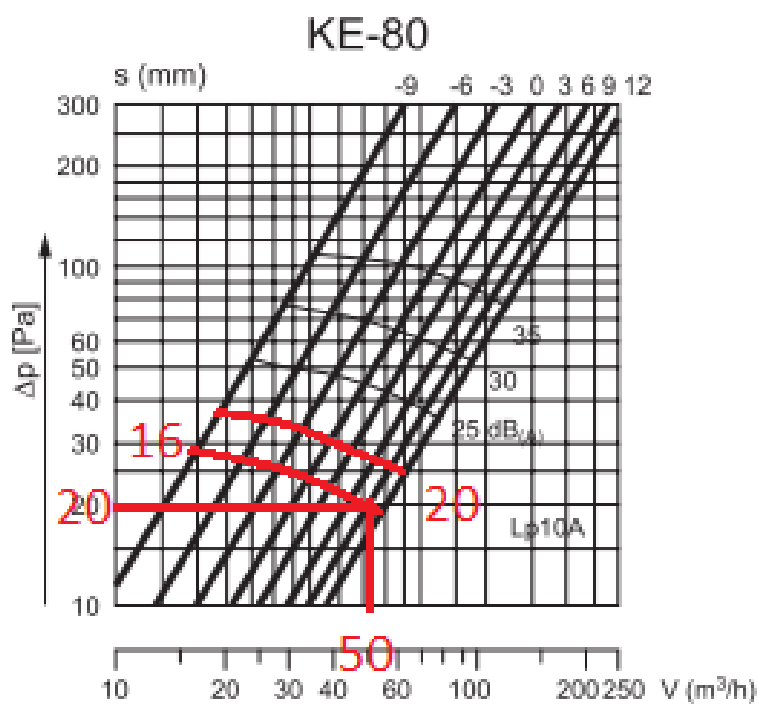
2.3 Talířový ventil SMAY KE (odvodní)



Rozměr	øD	øD ₁	B	Hmotnost
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
80	79	115	41	0,14
100	99	137	47	0,19
125	124	164	49	0,31
160	159	212	60	0,5
200	199	248	75	0,73

Obr. 15: Specifikace talířového ventilu KE [11]

2.3.1 Stanovení tlakové ztráty, akustického výkonu



Graf 7: Odečet tlakové ztráty, akustického výkonu SMAY KE [11]

3 NÁVRH PROTIPOŽÁRNÍ KLAPKY

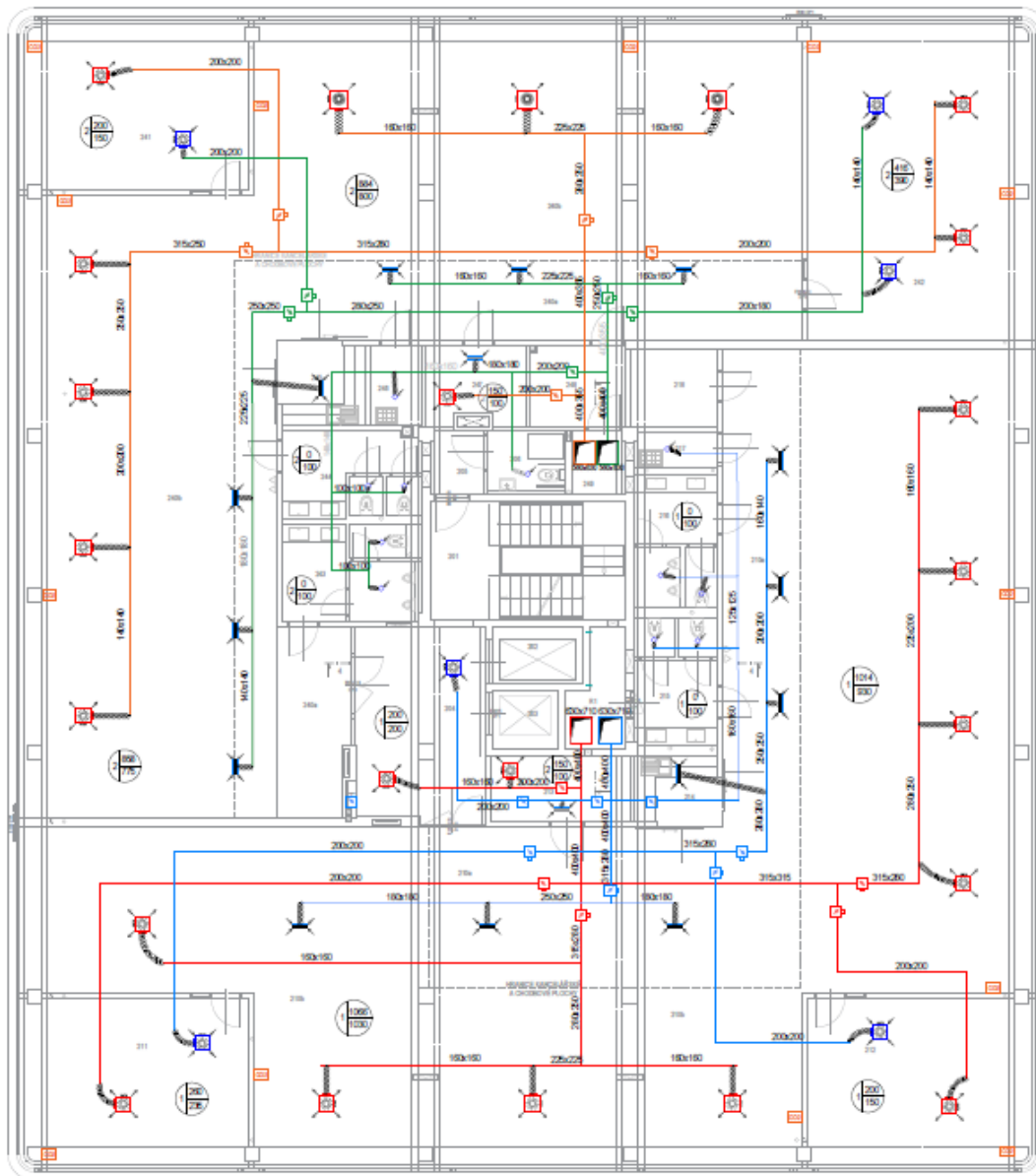
V projektu jsou navrženy protipožární klapky PKTM 90PM-C(K) se servopohonem od firmy MANDÍK. Požární klapka obsahuje termoelektrické spouštěcí čidlo.



Obr. 16 Protipožární klapka PKTM 90PM-C(K) [11]

4 NÁVRH TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ Č. 1

4.1 SCHÉMA ROZVODU POTRUBÍ

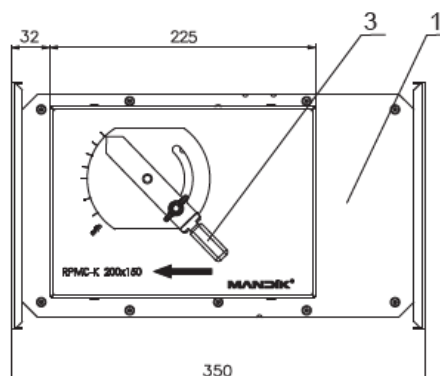


Rozvod vzduchotechnického potrubí pro každou zónu je rozdělen do jednotlivých větví, jenž zajišťují přívod a odvod vzduchu pro jednotlivé její části. Tyto větve byly zřízeny z důvodu nerovnoměrného rozložení osob v dané zóně s ohledem na množství vyprodukovaného množství oxidu uhličitého i s ohledem na ekonomickou stránku co se týče provozu vzduchotechnické jednotky.

Jednotlivé větve jsou opatřeny regulátorem průtoku vzduchu. Ve více osídlených místnostech jako jsou kancelářské prostory a zasedací místnosti jsou regulátory opatřeny servopohonem jenž ovládá regulační klapku a tím i přívodní a odvodní vzduch. V místnostech jako je chodba, šatny nebo koupelny a záchody jsou na větvích osazeny pouze regulátory, které zajišťují konstantní průtok vzduchu tak aby nedocházelo při poklesu přiváděného/odvodního vzduchu k jeho nárůstu tlaku v ostatních částech potrubí.

4.2 Regulátor RPMC-K

Jedná se o samočinný regulátor s konstantním průtokem. Síly které působí na list regulátoru vlivem proudění jsou vyrovnávány ovládacím zařízením nastaveným dle požadovaného průtoku. Nastavení požadovaného průtoku se nastaví pomocí páky s ukazatelem a stupnicí.

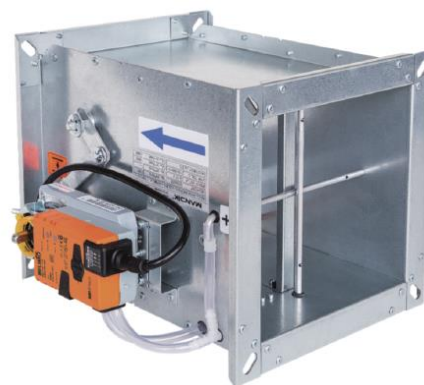


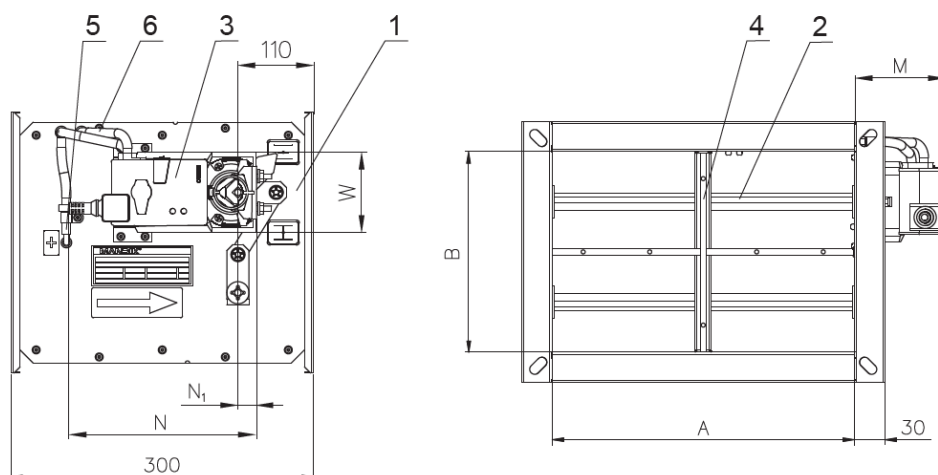
Velikost A x B	X	Z	Hmotnost [kg]				Typ servopohonu
			Provedení				
			mechanické		se servopohonem		
			bez izolace	s izolací	bez izolace	s izolací	
200 x 100	62	125	3,97	6,10	4,63	6,76	LM
200 x 150	62	125	4,36	6,74	5,01	7,40	LM
200 x 200	62	125	4,79	7,43	5,45	8,09	LM
300 x 100	62	125	4,69	7,32	5,35	7,98	LM
300 x 150	62	125	5,15	8,03	5,80	8,69	LM
300 x 200	62	125	5,55	8,68	6,21	9,34	LM
300 x 250	62	125	5,96	9,35	6,62	10,01	NM
300 x 300	81	132	6,47	10,11	7,43	11,07	NM
400 x 200	81	132	6,38	10,02	7,04	10,68	LM
400 x 250	87	137	6,88	10,77	7,84	11,73	NM

Obr. 17: Specifikace regulátoru vzduchu RPMC-K [11]

4.3 Regulátor RPMC-V

Tyto regulátory jsou určeny pro systémy s proměnlivým průtokem přiváděného nebo odváděného vzduchu. Zajišťuje přívod požadovaného množství vzduchu do jednotlivých kanceláří nebo zón dle řídicího signálu. Plynulá nebo skoková změna množství vzduchu z V_{min} na V_{max} je provedena na základě změny teploty, CO₂ nebo jiných parametrů. Regulátor průtoku vzduchu se skládá z tělesa regulátoru s regulační klapkou a tlakové sondy pro stanovení průtoku vzduchu. Na tělese je připevněn servopohon GLB142.1E - ACDC 24 V, s 2-3-bodovým řídicím signálem a zpětnou vazbou pro ovládání regulační klapky.





Pozice:

- | | | | |
|---|-------------------|---|---------------------|
| 1 | těleso regulátoru | 4 | tlačková sonda |
| 2 | regulační klapka | 5 | odběr tlaku - p_1 |
| 3 | servopohon | 6 | odběr tlaku - p_2 |

Obr. 18: Specifikace regulátoru vzduchu RPMC-V [11]

Poměr mezi přívodním a odvodním množstvím vzduchu může být rozdílný, tzn., že systém může být nastaven dle požadavku, jako rovnotlaký, přetlakový nebo podtlakový.

4.4 Nástěnné regulátory pro systémy s proměnlivým průtokem vzduchu

Ovládací panel RDG405KN slouží pro snímání aktuální polohy listů na jednotlivých regulátorech RPMC-V, řízení změny množství vzduchu v jednotlivých kancelářích nebo zón a nastavení minimálních otáček u přívodního a odvodního ventilátoru. Ovladač slouží pro nastavení systému a pro snímání parametrů na regulátorech.



Obr. 19: Ovládací panelem RDG400KN (vlevo) a RDG405KN (vpravo) [11]

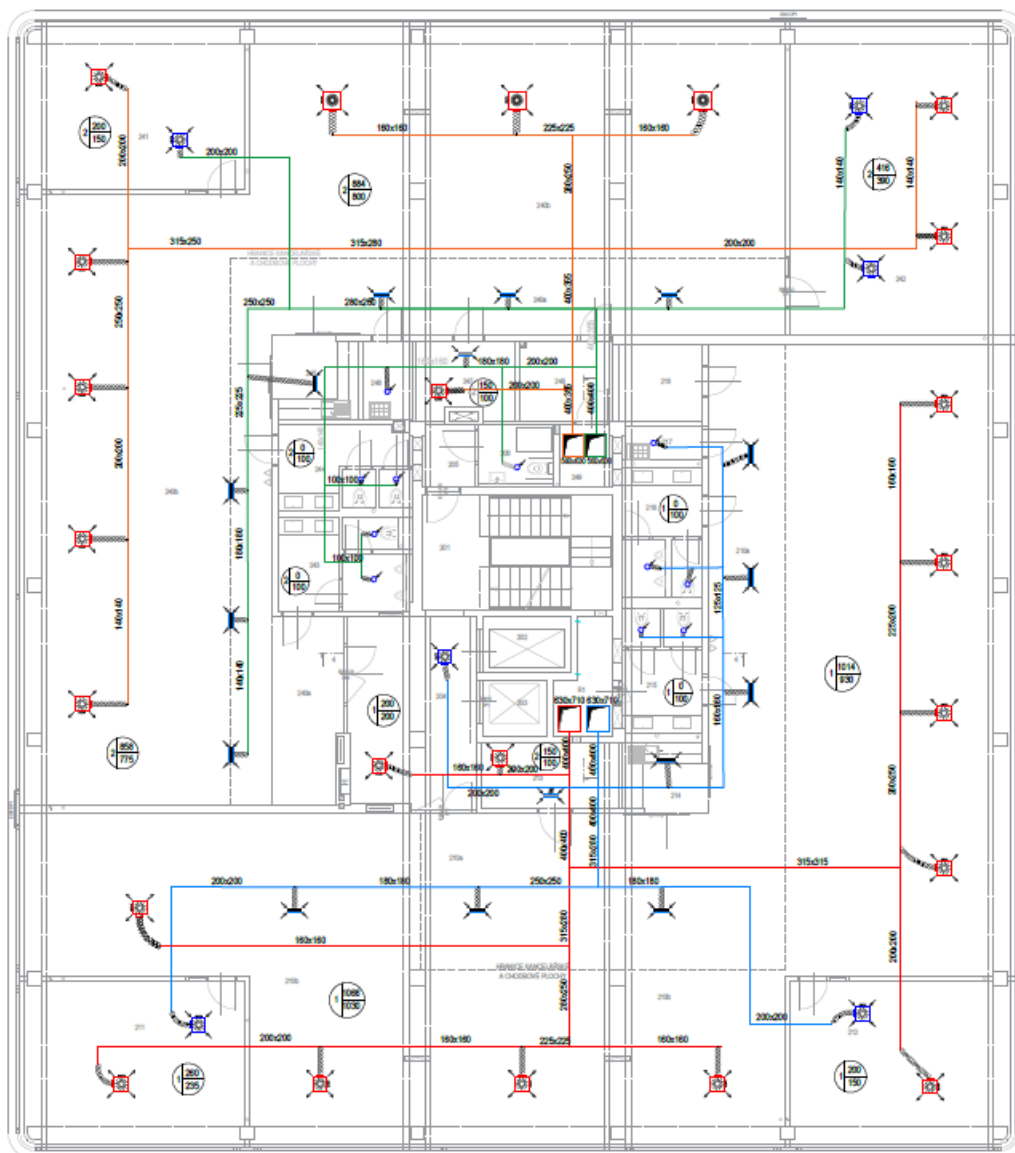
Nástěnný systém MTN6005-0001 - KNX zajišťuje změnu množství vzduchu v jednotlivých kancelářích. Změna průtoku je provedena na základě sledované veličiny, jako je teplota, CO2 nebo vlhkost.



Obr. 20: KNX datové body [11]

5 NÁVRH TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ Č. 2

5.1 SCHÉMA ROZVODU POTRUBÍ



V tomto návrhu se již nehledí na nerovnoměrné rozložení osob v zónách a tudíž nejsou vzduchotechnická potrubí rozdělena do jednotlivých větví. Tento návrh se díky tomu, že se nehledí na množství oxidu uhličitého na regulaci přívodního a odvodního vzduchu z toho důvodu nejsou na potrubí umístěny regulátory průtoků vzduchu.

5.2 Zhodnocení navrhovaných řešení

	1 Návrh řešení	2 Návrh řešení
INVESTICE		X
PROVOZ	X	
MaR	X	
KONFORT	X	X
ÚDRŽBA		X

6 VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY


Pro návrh vzduchotechnických jednotek jsem použil program od firmy Atrea. Jednotky byly vybrány z velkého sortimentu sestavených jednotek s ohledem na množství přiváděného a odváděného vzduchu. Byla vybrány větrací jednotky DUPLEX Multi -N s protiproudým rekuperačním výměníkem s možností přivádět vzduchu v množství do 11 000 m³/h.



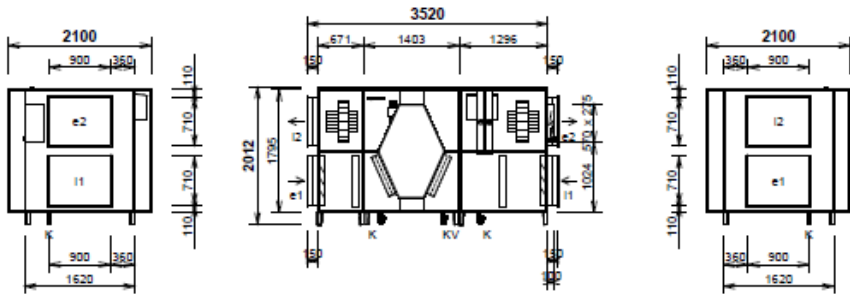
Obr. 21: jednotka DUPLEX 11 000 Multi -N [11]

6.1 Zařízení 1

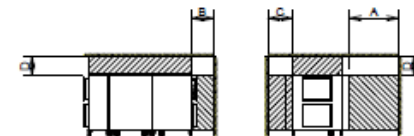
Jednotka	DUPLEX 11000 Multi-N	Specifikace:	DUPLEX 11000 Multi-N / 10/0 - Me.117.EC3 - Mi.117.EC3 - S7.C - Fe.K5 - Fi.K5 - B.LM24A - C.LM24A-SR - T.3.U - CHW.3.S - CO.CHT - Ke.LF24-SR - Ki.LF24 - RE-TPO3.LM24A-SR - R-CHW3.TR 24-SR - H.710/900.P - He.710/900.P - Hi2.710/900.P - FT - bez základového rámu - RD5 - RD4-IO - SW - CM.s - CPTOUCH.B.Wh - ErP 2016
----------	-----------------------------	--------------	--

Typ jednotky - Nástřešní s protiproudým rekuperátorem - Jednotka splňuje ErP (Ecodesign) - nařízení EU 1253/2014, platné od 1.1.2016.	
--	---

Provedení **10/0** nástřešní svislé pohled z čela (ze strany dveří)
 Hmotnost: cca 1398 kg, Dodávka v 3 blocích



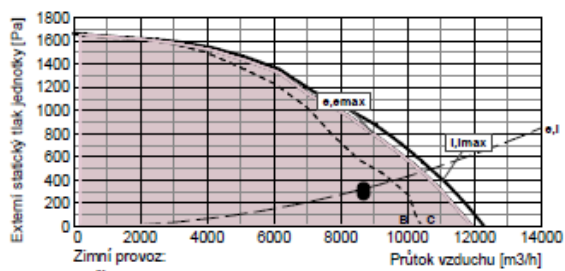
Manipulační prostor



hrdlo	druh	rozměr	příslušenství
e1	e1 - venkovní vzduch (ODA)	710 x 900 mm	uzavírací klapka, pružná manžeta
e2	e2 - přiváděný vzduch (SUP)	710 x 900 mm	pružná manžeta
i1	i1 - odváděný vzduch (ETA)	710 x 900 mm	uzavírací klapka, pružná manžeta
i2	i2 - odpadní vzduch (EHA)	710 x 900 mm	pružná manžeta
K	výstup kondenzátu	2x Ø32 mm/40 mm	sífon
KV	výstup kondenzátu vyhřívání	Ø32 mm/40 mm	sífon
T	Vodní ohřivač	1" vnitřní	připojovací rozměr - regulační uzel
CHW	Vodní chladič	1" vnitřní	připojovací rozměr - regulační uzel

A	otvírání dveří	min. 1600 mm
B	regulační modul	min. 720 mm
C	regulační uzel	min. 800 mm
D	horní prostor	min. 600 mm

Výkonová charakteristika jednotky:



Akustické parametry:

Hladina akustického výkonu LwA (dB)

Frekvence [Hz]	Total dB(A)	63 dB(A)	125 dB(A)	250 dB(A)	500 dB(A)	1 k dB(A)	2 k dB(A)	4 k dB(A)	8 k dB(A)
sání e1	62	47	53	55	55	55	47	48	29
výtlač e2	89	68	71	79	82	85	82	77	71
sání i1	62	42	48	55	58	57	48	<25	<25
výtlač i2	88	68	73	78	80	79	80	75	65
plášť do okolí	71	42	57	70	58	58	58	49	45

Akustický výkon do okolí je vypočten pro současný provoz obou ventilátorů a je změřen podle normy ISO 3744. Akustický výkon na hrdlech je změřen podle normy ISO 5136.

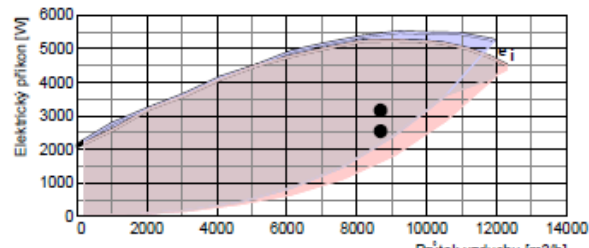
Hladina akustického tlaku LpA (dB)

plášť do okolí	51	<25	37	50	38	37	38	28	<25
----------------	----	-----	----	----	----	----	----	----	-----

Hladina akustického tlaku do okolí je uváděna ve vzdálenosti 3 m pro současný provoz obou ventilátorů a je změřena podle normy ISO 3744.

Jednotka obsahuje ventilátory vybavené EC technologií. Tyto ventilátory jsou plynule regulovatelné v celé vyznačené oblasti.

Ventilátory	přívod	odvod	
Vzduchové množství	m ³ /h	8685	8685
Externí statický tlak jednotky	Pa	328	284
Napětí (jmenovité)	V	400	400
Příkon (v pracovním bodě)	kW	3,2	2,5
Max. příkon (pro dimenzování)	kW	5,4	5,4
Max. proud (pro dimenzování)	A	8,6	8,6
Typ ventilátorů	Me.117	Mi.117	
Druh ventilátoru (s proměnlivými otáčkami)	EC3	EC3	



Ventilátor: e - Me.117.EC3 (400 V), i - Mi.117.EC3 (400 V)

Jednotka **DUPLEX 11000 Multi-N** Specifikace:

DUPLEX 11000 Multi-N / 10/0 - Me.117.EC3 - Mi.117.EC3 - S7.C - Fe.K5 - Fi.K5 - B.LM24A - C.LM24A-SR - T.3.U - CHW.3.S - CO.CHT - Ke.LF24-SR - Ki.LF24 - RE-TPO3.LM24A-SR - R-CHW3.TR 24-SR - H.710/900.P - He1.710/900.P - Hi2.710/900.P - FT - bez základového rámu - RD5 - RD4-IO - SW - CM.s - CPTOUCH.B.Wh - ErP 2016

Připojovací prvky		přívod	odvod	Regulační a uzavírací klapky		Typ servopohonu
Vstupní hrdlo i1 připojení	mm	-	710x900 pružné	Uzavírací klapka e1 (součást jednotky)		LF24-SR viz poznámka
Výstupní hrdlo e2 připojení	mm	710x900 pružné	-	Uzavírací klapka i1 (součást jednotky)		LF24
Odvod kondenzátu K	mm		3 x Ø32/40	By-passová klapka (integrována v jednotce)		LM24A
				Cirkulační klapka (integrována v jednotce)		LM24A-SR

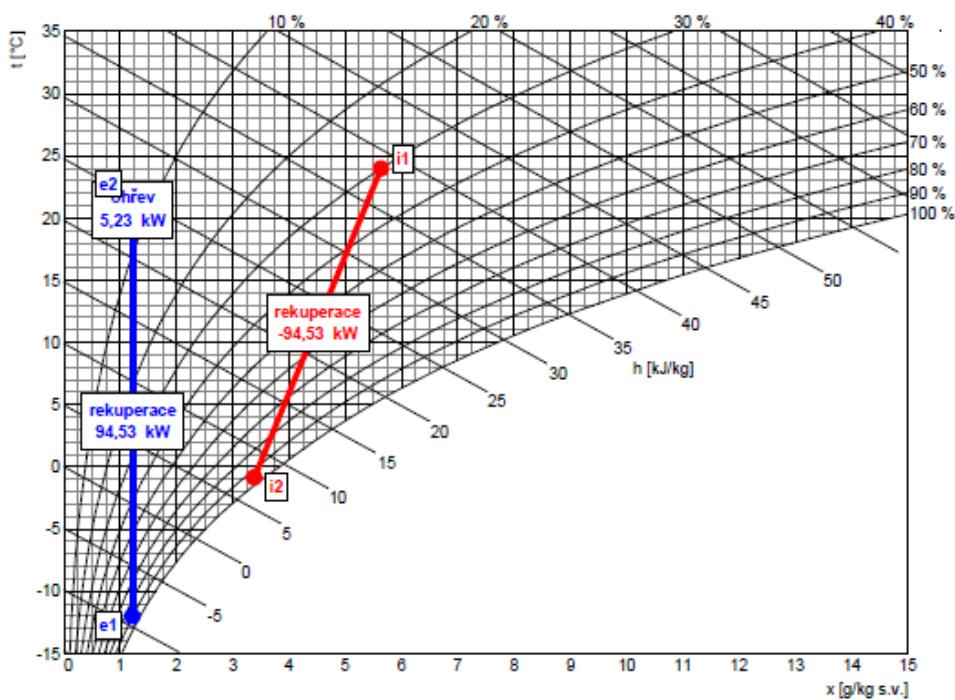
Rekupační výměník		přívod	odvod	Účinnost rekuperace [%]	
Vzduchové množství	m3/h	8685	8685		
Vstupní teplota	°C	-12	24		
Výstupní teplota	°C	19	-1		
Vstupní vlhkost	% r.h.	90	30		
Výstupní vlhkost	% r.h.	9	100		
Účinnost rekuperace zimní (letní)	%	87 (83)			
Výkon výměníku zimní (letní)	kW	94,5 (14,9)			
Tvorba kondenzátu	l/h	24,3			
Typ rekupačního výměníku		S7.C rekupační			

Vodní ohřívač		přívod	Příslušenství (součásti dodávky)	
Topné médium		etylenglykol 34%		
Vzduchové množství	m3/h	8685		
Vstupní teplota (za rekuperací)	°C	19		
Výstupní teplota (za ohříváčem)	°C	21		
Topný výkon	kW	5,2		
Teplotní spád topného média	°C	70 / 23		
Průtok média (ze zdroje)	l/h	95		
Tlaková ztráta média ve výměníku	kPa	3,85		
Tlaková ztráta média ve ventilu	kPa	31,96		
Připojovací rozměr (regulační uzel)		1" vnitřní		
Typ ohřívače		T 11000 3R / typ 2 vestavěný		
Omezení		viz upozornění		

Výkonový graf	
	<p>etylenglykol 34% — výkon max. --- výkon reg.</p>

- A protimrazový termostat 016-H6929-109 - 6m 2)
 - B odvětrávací ventil automatický 2)
 - C odkalovací ventil zátka 2)
 - Regulační uzel: RE-TPO3.LM24A-SR
 - D směšovací ventil IVAR.MIX3, Kv 12, 1" 2)
 - E servopohon LM24A-SR 2)
 - F kulový ventil 1" vnitřní 2)
 - G čerpadlo WILO YONOS PARA RS 20/ 6- RKC 2)
 - Ostatní:
 - K výměník voda/etylenglykol 3)
- 1 - dodáváno samostatně
 2 - osazeno a připojeno
 3 - není součástí dodávky, doporučeno

Zimní provoz



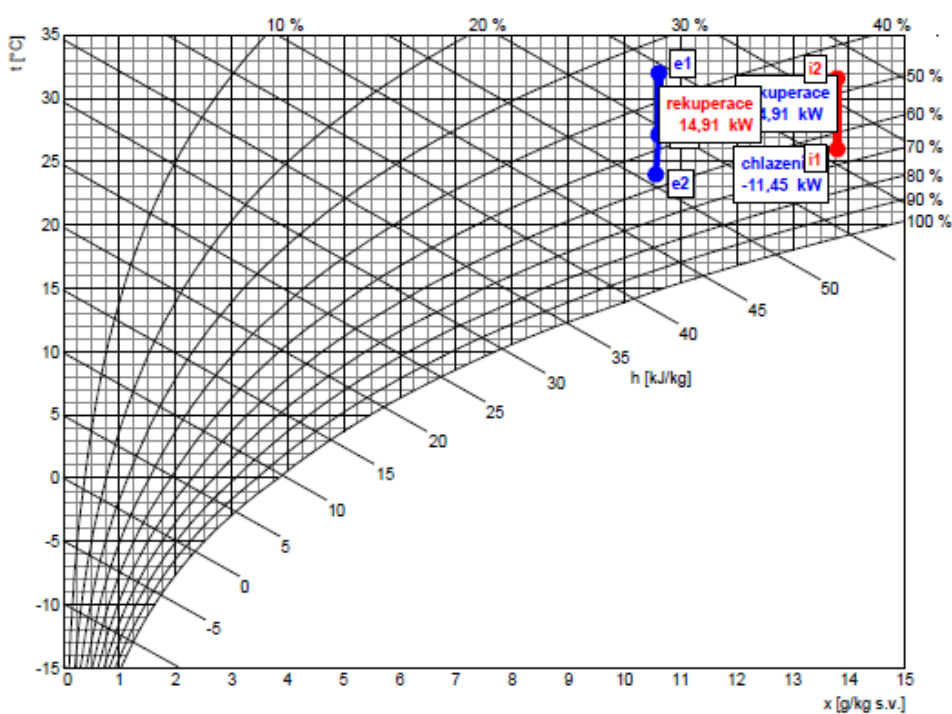
Přívod

	popis	t [°C]	rh [%]
e1	venkovní vzduch	-12,0	90
eR	rekuperace	19,5	9
e2	ohřev	22,0	7

Odvod

	popis	t [°C]	rh [%]
i1	odváděný vzduch	24,0	30
i2	rekuperace	-0,8	95

Letní provoz



Přívod

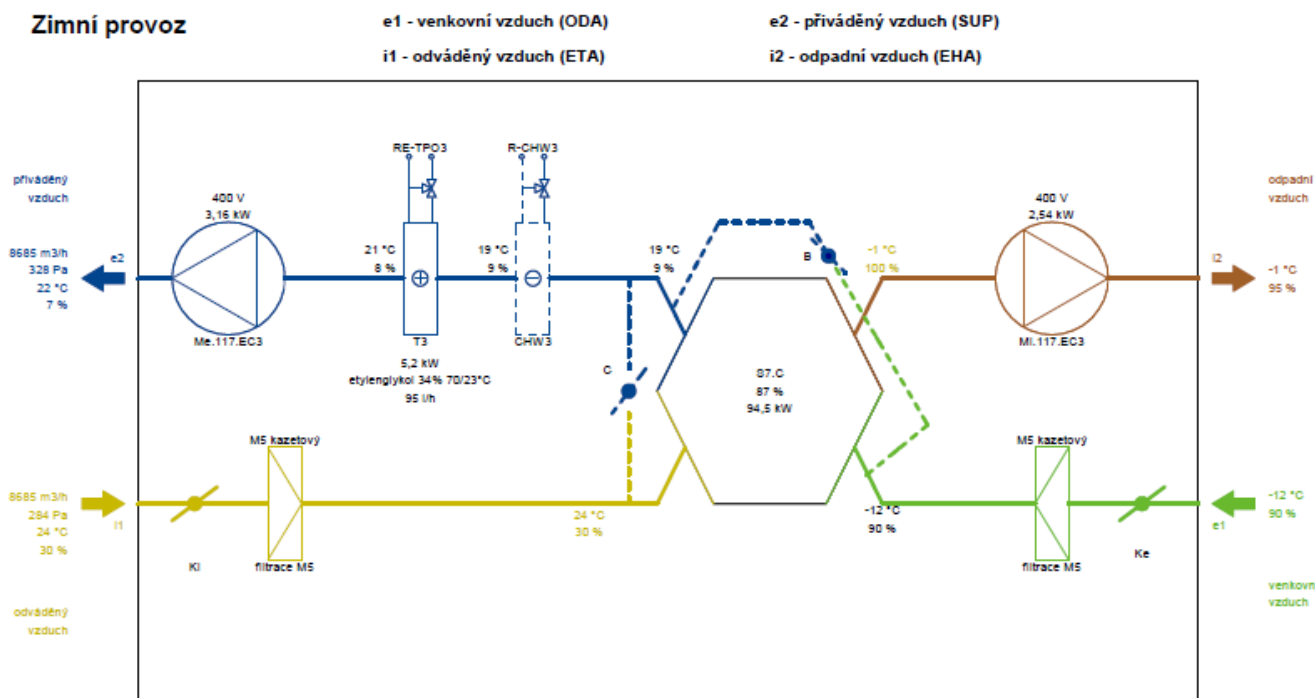
	popis	t [°C]	rh [%]
e1	venkovní vzduch	32,0	35
eR	rekuperace	27,2	47
e2	chlazení	24,0	56

Odvod

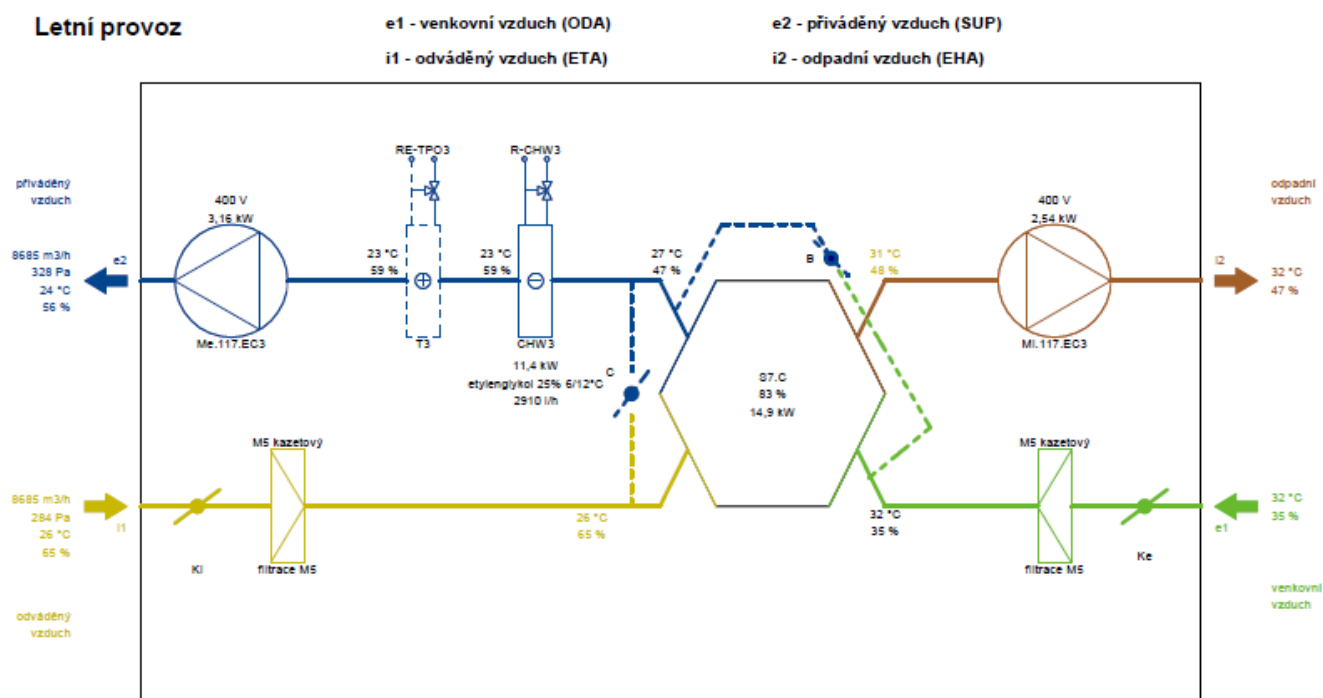
	popis	t [°C]	rh [%]
i1	odváděný vzduch	26,0	65
i2	rekuperace	31,6	47

6.1.1 Funkční schéma

Zimní provoz



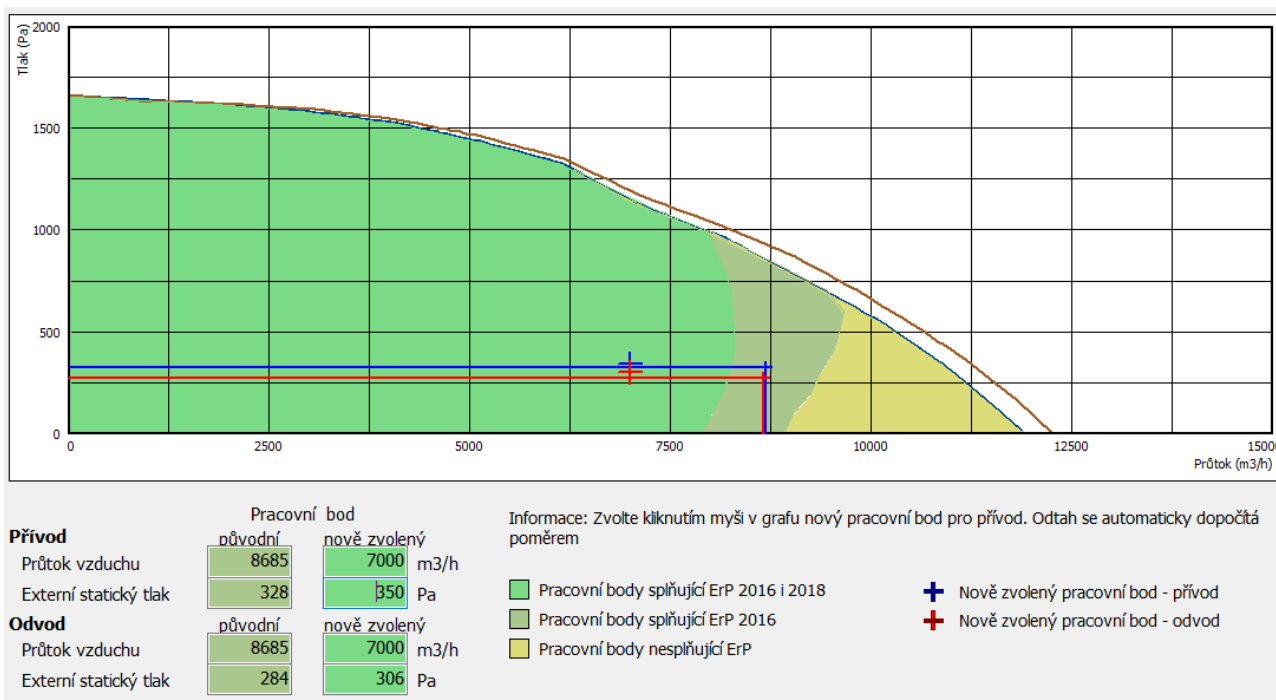
Letní provoz



6.1.2 Požadavky směrnice ErP na ventilátory

Prováděcí opatření ErP pro ventilátory definuje minimální účinnosti u ventilátorů ve výkonnostním rozsahu 125 W až 500 kW. Při posuzování skutečnosti, zda ventilátor odpovídá daným požadavkům, se hodnotí účinnost celého systému sestávajícího z motoru, převodu a hnacího kola.

Vzduchotechnické zařízení č. 1 splňuje požadované opatření ErP z roku 2016 ale kvůli velkému množství navrhovaného přívodního a odvodního vzduchu nespĺňuje opatření ErP z roku 2018. Navržený přívod vzduchu je počítán na 100 % obsazenost v celé zóně. V zóně se však obsazenost pohybuje mezi 50-100 % , což při uvažování 80 % obsazenosti v zóně je přiváděno množství (7000 m³/h) a to již splňuje potřebné opatření ErP 2018.



6.2 Zařízení 2

Jednotka **DUPLEX 10000 Multi-N** Specifikace:

DUPLEX 10000 Multi-N / 10/0 - Me.113.EC3 - Mi.113.EC3 - S7.C - Fe.K5 - Fi.K5 - B.LM24A - C.LM24A-SR - T.3.U - CHW.3.S - CO.CHT - Ke.LF24-SR - Ki.LF24 - RE-TPO3.LM24A-SR - R-CHW3.TR 24-SR - H.710/900.P - He1.710/900.P - Hi2.710/900.P - FT - bez základového rámu - RD5 - RD4-IO - PFe - PFi - SW - CM.s - CPTOUCH.B.Wh + PH.EPO-V 800 x 500 / 54,0 - ErP 2016, 2018

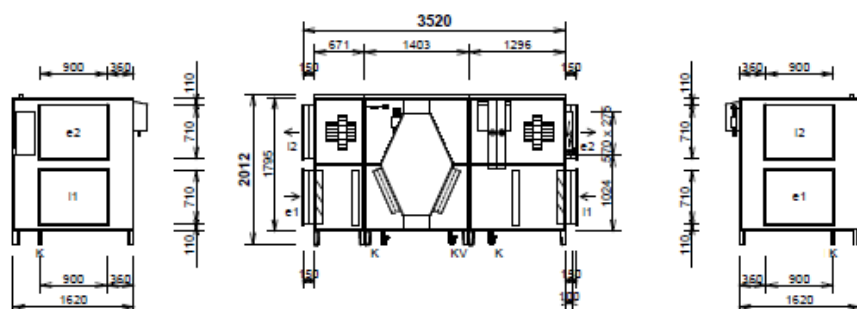
Typ jednotky

- Nástřešní s protiproudým rekuperátorem
- Jednotka splňuje ErP (Ecodesign) - nařízení EU 1253/2014, platné od 1.1.2016 i 1.1.2018.

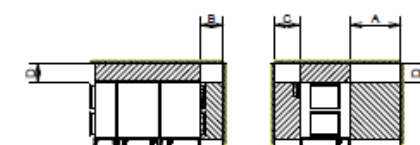


Provedení **10/0** nástřešní svislé pohled z čela (ze strany dveří)

Hmotnost: cca 1314 kg, Dodávka v 3 blocích



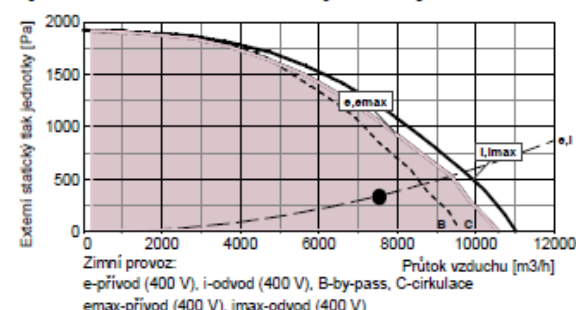
Manipulační prostor



A	otvírání dveří	min. 1600 mm
B	regulační modul	min. 720 mm
C	regulační uzal	min. 800 mm
D	horní prostor	min. 600 mm

hrdlo	druh	rozměr	příslušenství
e1	e1 - venkovní vzduch (ODA)	710 x 900 mm	uzavírací klapka, pružná manžeta
e2	e2 - přiváděný vzduch (SUP)	710 x 900 mm	pružná manžeta
i1	i1 - odváděný vzduch (ETA)	710 x 900 mm	uzavírací klapka, pružná manžeta
i2	i2 - odpadní vzduch (EHA)	710 x 900 mm	pružná manžeta
K	výstup kondenzátu	2x Ø32 mm/40 mm	sifon
KV	výstup kondenzátu vyhřívání	Ø32 mm/40 mm	sifon
T	Vodní ohřivač	1" vnitřní	připojovací rozměr - regulační uzal
CHW	Vodní chladič	1" vnitřní	připojovací rozměr - regulační uzal

Výkonová charakteristika jednotky:



Jednotka obsahuje ventilátory vybavené EC technologií. Tyto ventilátory jsou plynule regulovatelné v celé vyznačené oblasti.

Akustické parametry:

Hladina akustického výkonu LwA (dB)

Frekvence [Hz]	Total dB(A)	63 dB(A)	125 dB(A)	250 dB(A)	500 dB(A)	1 k dB(A)	2 k dB(A)	4 k dB(A)	8 k dB(A)
sání e1	63	46	50	53	59	59	51	53	40
výtak e2	93	69	72	85	86	89	86	81	76
sání i1	66	41	44	61	61	59	52	39	30
výtak i2	94	70	75	83	89	90	86	81	75
plášť do okolí	74	48	55	73	59	58	59	52	51

Akustický výkon do okolí je vypočten pro současný provoz obou ventilátorů a je změřen podle normy ISO 3744. Akustický výkon na hrdlech je změřen podle normy ISO 5136.

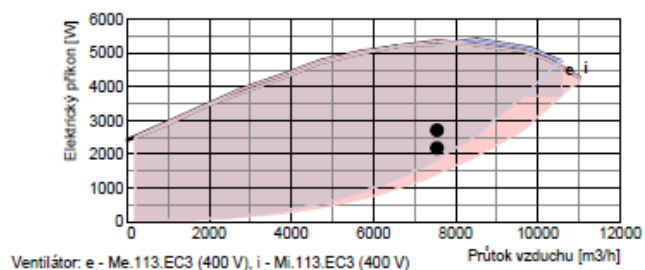
Hladina akustického tlaku LpA (dB)

plášť do okolí	53	27	34	52	38	37	39	32	31
----------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Hladina akustického tlaku do okolí je uváděna ve vzdálenosti 3 m pro současný provoz obou ventilátorů a je změřena podle normy ISO 3744.

Ventilátory

	přívod	odvod
Vzduchové množství	m ³ /h	7545
Externí statický tlak jednotky	Pa	346
Napětí (jmenovité)	V	400
Příkon (v pracovním bodě)	kW	2,7
Max. příkon (pro dimenzování)	kW	5,2
Max. proud (pro dimenzování)	A	8,4
Typ ventilátorů	Me.113	Mi.113
Druh ventilátoru (s proměnlivými otáčkami)	EC3	EC3



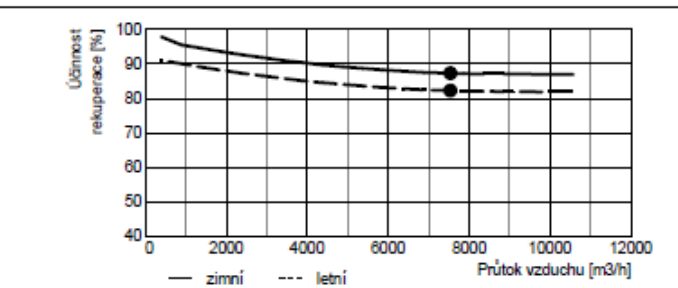
Jednotka **DUPLEX 10000 Multi-N** Specifikace:

DUPLEX 10000 Multi-N / 10/0 - Me.113.EC3 - Mi.113.EC3 - S7.C - Fe.K5 - Fi.K5 - B.LM24A - C.LM24A-SR - T.3.U - CHW.3.S - CO.CHT - Ke.LF24-SR - Ki.LF24 - RE-TPO3.LM24A-SR - R-CHW3.TR 24-SR - H.710/900.P - He1.710/900.P - Hi2.710/900.P - FT - bez základového rámu - RD5 - RD4-IO - PFe - PFi - SW - CM.s - CPTOUCH.B.Wh + PH.EPO-V 800 x 500 / 54,0 - ErP 2016, 2018

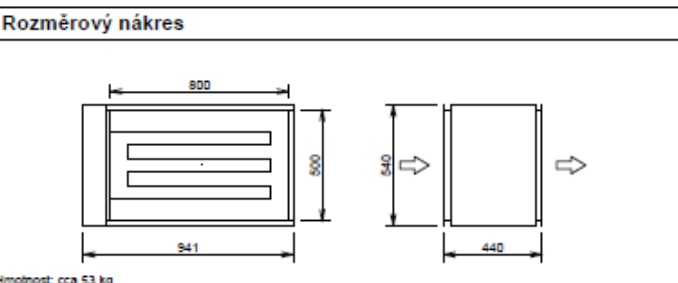
Připojovací prvky		přívod	odvod
Vstupní hrdlo i1 připojení	mm	-	710x900 pružné
Výstupní hrdlo e2 připojení	mm	710x900 pružné	-
Odvod kondenzátu K	mm	3 x Ø32/40	

Regulační a uzavírací klapky	Typ servopohonu
Uzavírací klapka e1 (součást jednotky)	LF24-SR viz poznámky
Uzavírací klapka i1 (součást jednotky)	LF24
By-passová klapka (integrovaná v jednotce)	LM24A
Cirkulační klapka (integrovaná v jednotce)	LM24A-SR

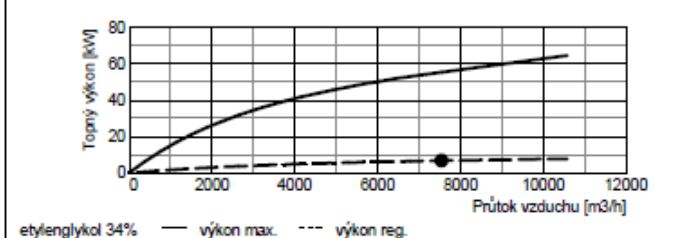
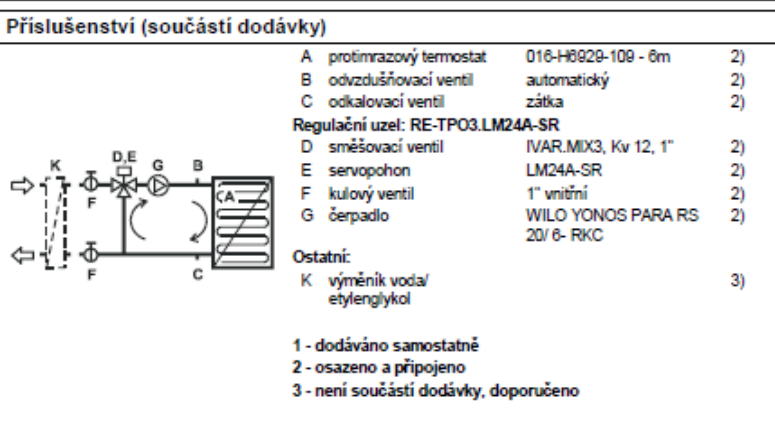
Rekupační výměník		přívod	odvod
Vzduchové množství	m ³ /h	7545	7545
Vstupní teplota	°C	-12	23
Výstupní teplota	°C	19	-2
Vstupní vlhkost	% r.h.	90	30
Výstupní vlhkost	% r.h.	9	100
Účinnost rekuperace zimní (letní)	%	87 (82)	
Výkon výměníku zimní (letní)	kW	79,8 (12,9)	
Tvorba kondenzátu	l/h	19,4	
Typ rekupačního výměníku	S7.C rekupační		



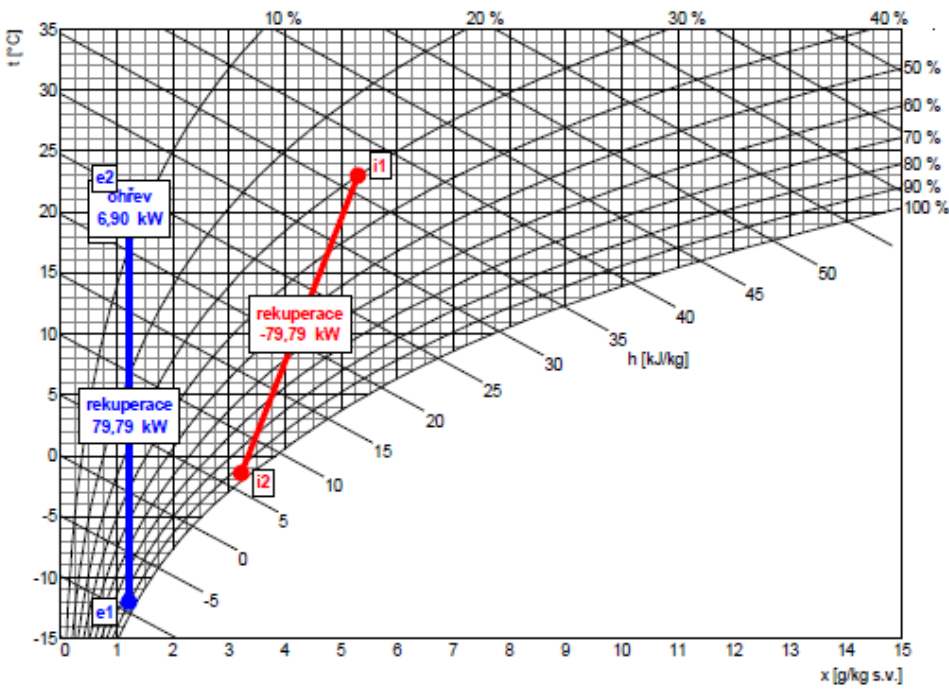
Elektrický předehříváč		přívod	
Vzduchové množství	m ³ /h	7545	
Vstupní teplota (před ohříváčem)	°C	-12	
Výstupní teplota (za ohříváčem)	°C	-8	
Topný výkon	kW	11,7	
Max. topný výkon	kW	54,0	
Napětí	V	400	
Připojovací hrdla	mm	500 x 800	
Typ ohříváče		EPO-V 800 x 500 / 54,0 samostatný	



Vodní ohříváč		přívod	
Topné médium		etylenglykol 34%	
Vzduchové množství	m ³ /h	7545	
Vstupní teplota (za rekuperací)	°C	19	
Výstupní teplota (za ohříváčem)	°C	21	
Topný výkon	kW	6,9	
Teplotní spád topného média	°C	70 / 24	
Průtok média (ze zdroje)	l/h	130	
Tlaková ztráta média ve výměníku	kPa	3,85	
ve ventilu	kPa	31,96	
Připojovací rozměr (regulační uzel)		1" vnitřní	
Typ ohříváče		T 10000 3R vestavěný	
Omezení		viz upozornění	



Zimní provoz



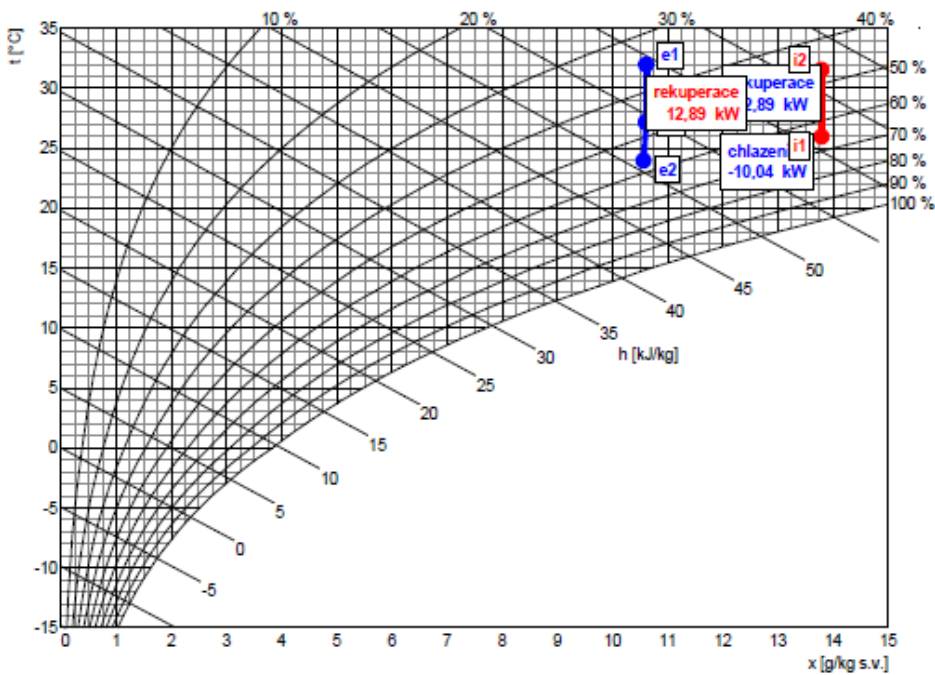
Přívod

	popis	t [°C]	rh [%]
e1	venkovní vzduch	-12,0	90
eR	rekuperace	18,6	9
e2	ohřev	22,0	7

Odvod

	popis	t [°C]	rh [%]
i1	odváděný vzduch	23,0	30
i2	rekuperace	-1,4	95

Letní provoz



Přívod

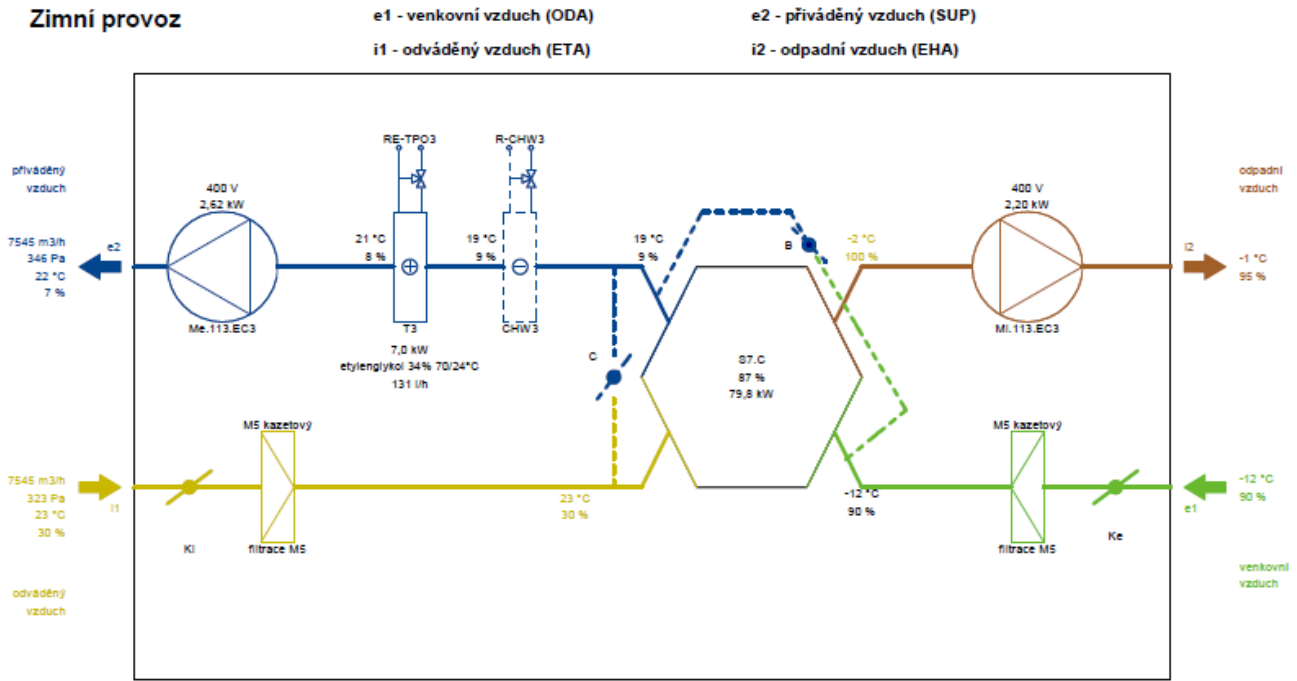
	popis	t [°C]	rh [%]
e1	venkovní vzduch	32,0	35
eR	rekuperace	27,2	47
e2	chlazení	24,0	56

Odvod

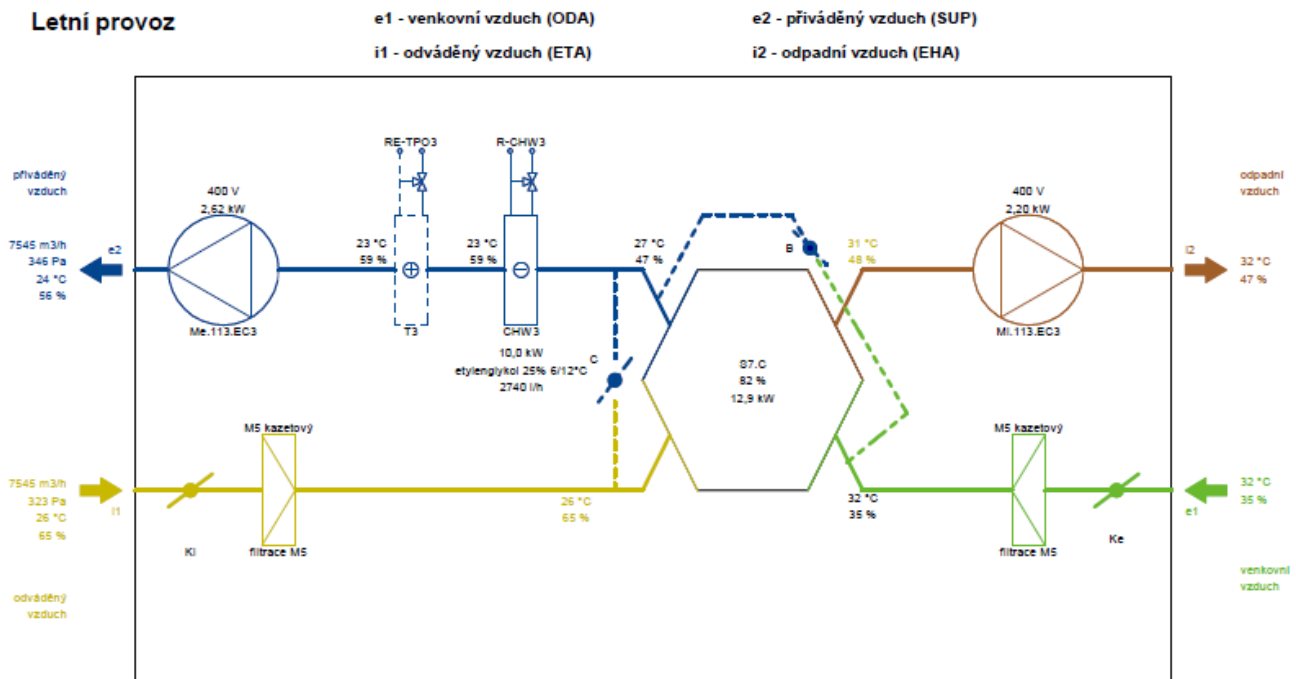
	popis	t [°C]	rh [%]
i1	odváděný vzduch	28,0	65
i2	rekuperace	31,6	47

6.2.1 Funkční schéma

Zimní provoz



Letní provoz





VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČÁST D – TECHNICKÁ ČÁST

PART D - TECHNIKAL PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Kops

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OLGA RUBINOVÁ, Ph.D.

BRNO 2018

TECHNICKÁ ZPRÁVA

1 ÚVOD

Předmětem této projektové dokumentace je návrh nuceného větrání a vytápění administrativní budovy. Návrh byl proveden na minimální hygienické potřeby přívodu vzduchu na osobu stanovenou dle normy (Návrh č.2) a podle potřeby vzduchu na osobu spočtenou podle koncentrace oxidu uhličitého (Návrh č. 1).

2 ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

S ohledem na požadovanou čistotu v objektu jsou všechny místnosti nuceně větrány nebo klimatizovány pomocí vzduchotechnických zařízení. V objektu se nacházejí dvě vzduchotechnická zařízení. První zařízení obsluhuje jihovýchodní část a druhé zařízení severozápadní část objektu. Každé zařízení obsluhuje 3 podlaží

3 POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

3.1 Koncepce větracích a klimatizačních zařízení

Návrh řešení vzduchotechniky je řešen s ohledem na závazné normy a požadavky. Vzduchotechnická zařízení pracují v nízkotlakém režimu. Hygienická úprava je nutná kvůli požadavkům na vnitřní prostředí. Řešená část budovy je rozdělena do dvou funkčních celků a každý obsluhuje jedna vzduchotechnická jednotka. Jednotky slouží pouze pro větrání.

Zařízení č.1 – VÝCHODNÁ A JIŽNÍ ČÁST KANCELÁŘÍ

Vzduchotechnická jednotka bude zajišťovat jednostupňovou filtraci přívodního vzduchu. Na vstupu do jednotky filtrem třídy M5. Zpětné získávání tepla bude zajištěno protiproudým rekuperačním výměníkem. VZT jednotka obsahuje také ohřev a chlazení vzduchu vodními výměníky. Odvodní vzduch bude na vstupu opatřen filtrem třídy M5. Distribuce vzduchu bude zajištěna dvěma radiálními ventilátory se spirální skříňí a řemenovým pohonem. Přívod a odvod vzduchu je 8685 m³/h. Vzduchotechnická jednotka bude umístěna na stavitelném ocelovém rámu výšky 400 mm nacházejícím se na ploché střeše.

Přívodní vzduch bude distribuován pomocí čtyřhranného potrubí z pozinkovaného plechu. Distribuční prvky budou zajištěny jak pro přívod tak pro odvod jako vířivé čtyřhranné výustě. Dalšími prvky sloužícími pro distribuci vzduchu jsou talířové ventily a Obdélníková vyústka – VKE. Všechny prvky jsou napojeny na rozvod ohebným FLEXI potrubím. Rozvody budou vedeny ze strojovny do obsluhovaných podlaží šachtou a v daném podlaží vedeny v podhledu výšky 1,0 m.

Zařízení č.2 – SEVERNÍ A ZÁPADNÍ ČÁST KANCELÁŘÍ

Vzduchotechnická jednotka bude zajišťovat jednostupňovou filtraci přívodního vzduchu. Na vstupu do jednotky filtrem třídy M5. Zpětné získávání tepla bude zajištěno protiproudým rekuperačním výměníkem. VZT jednotka obsahuje také ohřev a chlazení vzduchu vodními výměníky. Odvodní vzduch bude na vstupu opatřen filtrem třídy M5. Distribuce vzduchu bude zajištěna dvěma radiálními ventilátory se spirální skříňí a řemenovým pohonem. Přívod

a odvod vzduchu je 8685 m³/h. Vzduchotechnická jednotka bude umístěna na stavitelném ocelovém rámu výšky 400 mm nacházejícím se na ploché střeše.

Přívodní vzduch bude distribuován pomocí čtyřhranného potrubí z pozinkovaného plechu. Distribuční prvky budou zajištěny jak pro přívod tak pro odvod jako vířivé čtyřhranné výústě. Dalšími prvky sloužícími pro distribuci vzduchu jsou talířové ventily a Obdélníková vyústka – VKE. Všechny prvky jsou napojeny na rozvod ohebným FLEXI potrubím. Rozvody budou vedeny ze strojovny do obsluhovaných podlaží šachtou a v daném podlaží vedeny v podhledu výšky 1,0 m.

4 MĚŘENÍ A REGULACE

Navržené systémy VZT budou řízeny a regulovány samostatným systémem měření a regulace profese MaR. Tím jsou řízeny tyto parametry:

- Ovládání chodu ventilátorů – udržování konstantního tlaku v potrubí, silové napájení ovládaných zařízení
- Umístění teplotních a CO₂ čidel podle požadavku
- Řízení regulátorů průtoku vzduchu dle měření CO₂
- Regulace teploty vzduchu řízením výkonu teplovodních ohřivačů v zimním i letním období – vlečná regulace (směšováním)
- Poruchová signalizace
- Řízení účinnosti protimrazové ochrany deskového výměníku nastavováním obtokové klapky (na základě teploty odpadního vzduchu nebo tlakové ztráty)
- Signalizace bezporuchového chodu ventilátorů pomocí diferenčního snímače tlaku
- Měření a signalizace zanášení filtrů – změna tlakových poměrů
- Ovládání uzavíracích klapek na jednotce včetně dodání servopohonů
- Signalizace požárních klapek (Z / O) - podružná signalizace polohy na panel požárních klapek (VZT dodá ke každé klapce koncový spínač 24V)

5 NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE

5.1 Stavební úpravy:

- Zřízení instalačních šachet pro vedení jednotlivých vzduchovodů
- Dotěsnění a oplechování prostupů VZT
- Vytvoření revizních otvorů k regulačním a požárním klapkám
- Vytvoření prostupů pro potrubí a odklizení sutě
- Dotěsnění prostupů VZT potrubí izolačními protistresovými hmotami
- Stavení, výpomocné práce

5.2 Silnoproud:

- opatření el. zařízení výstražnými štítky dle ČSN ISO 3864

- Připojení všech elektrických spotřebičů a zařízení na elektrickou energii dle potřeby těchto zařízení
- Ovládání uzavírání požárních klapek

5.3 Vytápění:

- Připojení ohřivačů centrální VZT jednotky na topnou vodu včetně regulačního uzlu

6 ZÁVĚR

Navržená vzduchotechnická zařízení splňují požadavky pro daný specifický provoz a zabezpečí v daných místnostech optimální pohodu a čistotu prostředí požadovanou předpisy. Před spuštěním zařízení musí být zregulováno a odzkoušeno na všechny provozní režimy a musí být odzkoušeny všechny bezpečnostní systémy.

ZÁVĚR

Výsledkem diplomové práce je zjištěna závislost tepové frekvence na vyprodukované množství oxidu uhličitého a tím zjištěné potřebné množství přiváděného vzduchu na osobu v různých fyzických aktivitách. Tyto hodnoty byly použity v typovém objektu administrativní budovy. Dále bylo do tohoto objektu navrženo systém pro snímání množství oxidu uhličitého v jednotlivých zónách a na něm závislý regulovatelný přívod a odvod vzduchu. Tento systém a výsledky lze použít i v objektech s proměnnou obsazeností jako jsou kina a přednáškové haly a pro prostory s proměnnou fyzickou aktivitou jednotlivých osob v objektu např. posilovny.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] MERKUNOVÁ, A a OREL, M. Anatomie a fyziologie člověka: pro humanitní obory. 1 vyd. Praha: Grada, 2008, 302 s. Psyché (Grada). ISBN 978-802-4715-216.
- [2] NOVOTNÝ, I a HRUŠKA, M. Biologie člověka. 3., rozš. a upr. vyd. Praha: Fortuna, 2002, 239 s. ISBN 80-716-8819-3.
- [3] TROJAN, S. Lékařská fyziologie. 4. vyd. přepr. a dopl. Praha: Grada Publishing, 2003, 771 s. ISBN 80-247-0512-5
- [4] SALAJKA, F. Základní vyšetřovací metody v pneumologii. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita-Lékařská fakulta, 1996, 43 s. ISBN 80-210-1390-7.
- [5] NOVÁK, M., S. FEITOVÁ, V. DRAŽIL, J. KRÁTKÝ a P. KRAUS. Funkční vyšetřování dýchání a oběhu pro SZP: Fyziologie dýchání a funkční vyšetření plic. Brno: Vydáno vlastním nákladem, 1978.
- [6] PENHAKER, M. Lékařské diagnostické přístroje: učební texty. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, 320 s. ISBN 80-248-0751-3.
- [7] ROZMAN, J. Elektronické přístroje v lékařství. Praha: Academia, 2006, ISBN 80-200-1308-3.
- [8] Methods for Measuring Spirometry. Spirometrie [online]. 2007-2012 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <http://www.spirometrie.info/methods.html>
- [9] Wikiskripta.eu [online]. LungVolume cs.png [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:LungVolume_cs.png
- [10] Protronix s.r.o. vetrani.tzb-info.cz [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/5827-pracujete-ve-zdravem-prostredi>
- [11] Copyright © Smay, Nawiewinki wír NS9 - SMAY - zařízení a ventilační systémy,[cit. 2018-11-15], Dostupné z: <http://www.smay.pl/pl/product/nawiewinki-wirowe-ns9/>

- [12] Systemair, Obdélníková vyústka – VKE, PBZI-H, [cit. 2018-11-15], Dostupné z: https://www.systemair.com/globalassets/websites/CZ/Katalogy/Katalog_NOVA_mrizky.pdf
- [13] Copyright © Smay, Ventilačních průduchů EC / KK - SMAY - systémy a ventilační systémy , [cit. 2018-11-15], Dostupné z: <http://www.smay.pl/pl/product/zawory-wentylacyjne-ke-kk/>
- [14] MANDÍK, a.s., Požární technika - pktm-90pm-c(k), [cit. 2018-11-15], Dostupné z: [http://www.mandik.cz/produktova-rada/pozarni-technika/pktm-90pm-c\(k\)](http://www.mandik.cz/produktova-rada/pozarni-technika/pktm-90pm-c(k))
- [15] MANDÍK, a.s., Regulační technika - RPMC-K Regulátor konstantního průtoku vzduchu čtyřhranný, [cit. 2018-11-15], Dostupné z: <http://www.mandik.cz/produktova-rada/regulacni-technika/rpmc-k>
- [16] MANDÍK, a.s., Regulační technika - RPMC-V Regulátor variabilního průtoku vzduchu čtyřhranný, [cit. 2018-11-15], Dostupné z: <http://www.mandik.cz/produktova-rada/regulacni-technika/rpmc-v>
- [17] Siemens, s.r.o., Regulátory pro VAV aplikace – RDG400KN a RDG405KN, [cit. 2018-11-15], Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/ibt/mereni_a_regulace/regulatory/vav/pages/rdg40_kn.aspx
- [18] © ATREA s. r. o., DUPLEX 500–11000 Multi, [cit. 2018-11-15], Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/duplex-500-11000-multi>

SEZNAM TABULEK

- Tab 1 - Složení vzduchu v blízkosti zemského povrchu
- Tab 2 - Min. plocha a množství vzduchu dle vyhlášky č. 410/2005 sb
- Tab 3 - Množství přiváděného čerstvého vzduchu v učebnách
- Tab 4 – Třídy kvality vzduchu podle ČSN EN 13779
- Tab 5 - tlakové ztráty. akustického výkonu VKE

SEZNAM GRAFŮ

- Graf 1: Křivka objem – čas
- Graf 2: Křivka průtok – objem
- Graf 3: Napěťový výstup 0-10V
- Graf 4: Proudový výstup 0-20mA
- Graf 5: Naměřené hodnot ze spirometru
- Graf 6: Odečet tlakové ztráty, akustického výkonu NS-9

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Plíce

Obr. 2: Pneumotachograf typu Lilly

Obr. 3: Pneumotachograf typu Fleisch

Obr. 4 – Dechový vzor s vyznačenými objemy a kapacitami

Obr. 5: Čidla NDIR

Obr. 6: Elektrochemická čidla

Obr. 7: Elektroakustická čidla

Obr. 8: Grafický výstup multi-room modelu, program COMIS

Obr. 9: Graf sběru dat

Obr. 10: Spirometr SPR – BTA

Obr. 11: čidlo CO₂

Obr. 12: Spirometrické měření v klidu

Obr. 13: Specifikace výustě NS-9

Obr. 14: Specifikace PBZI-H

Obr. 15: Specifikace talířového ventilu KE

Obr. 16 Protipožární klapka PKTM 90PM-C(K) **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

Obr. 17: Specifikace regulátoru vzduchu RPMC-K

Obr. 18: Specifikace regulátoru vzduchu RPMC-V

Obr. 19: Ovládací panelem RDG400KN (vlevo) a RDG405KN (vpravo)

Obr. 20: KNX datové body

Obr. 21: jednotka DUPLEX 12100 Basic-N

SEZNAM PŘÍLOH

- 1) PŮDORYS 3.NP – NÁVRH ŘEŠENÍ 1
- 2) PŮDORYS 2.NP – NÁVRH ŘEŠENÍ 2
- 3) PŮDORYS STŘECHY
- 4) ŘEZ OBJEKTEM, FUNKČÍ SCHÉMA